Journal of Knowledge Information Technology and Systems

ISSN 1975-7700

http://www.kkits.or.kr

Reliability Analysis of Systems Using Simplified Neutrosophic Sets

Sang Yeop Cho*

Department of Internet, Chungwoon University

ABSTRACT

Neutrosophy is a branch of philosophy which studies the origin, nature and scope of neutralities, as well as their interactions with different spectra. Neutrosophic sets(NS) are powerful general formal framework, which generalizes the concept of the classic set, fuzzy set, interval valued fuzzy set, intuitionistic fuzzy set, and interval intuitionistic fuzzy set from philosophical point of view. However, it will be difficult to apply in real science and engineering area because neutrosophic sets are defined on real standard and nonstandard subsets of $]0^-, 1^+[$. Therefore many researchers proposed the subclasses of neutrosophic set which can be applied to real world problem solving. There are single valued neutrosophic set($SVNS$), interval valued neutrosophic set($IVNS$), simplified neutrosophic set(SNS), and so on in the subclasses of neutrosophic set. Simplified neutrosophic set is a subclass of a neutrosophic set and includes the concept of a single valued neutrosophic set and an interval valued neutrosophic set. In this paper we propose the way to evaluate the system reliability based on simplified neutrosophic set. It can manipulate truth membership, indeterminacy membership, and falsity membership as point, subinterval, and point/subinterval because of $SVNS,\ IVNS \subseteq SNS$.

KEYWORDS: Reliability analysis, Neutrosophic sets, Simplified neutrosophic sets, Single valued Neutrosophic sets, Interval Neutrosophic sets

ARTICLE INFO: Received 25 March 2016, Revised 11 April 2016, Accepted 11 April 2016.

1. 서 론

신뢰도 이론은 두 가지의 기본적인 가설로 구성된다. 첫 번째가 확률가정이고 두 번째가 이진 상

*Corresponding author is with the Department of Internet, Chungwoon University, 113 Sukgol-ro Nam-gu Incheon, 22100, KOREA.

E-mail addresses: sycho@chungwoon.ac.kr

태 가정이다. 확률가정은 확률 척도 문맥 내에서 시스템 동작의 모두 특징지울 수 있다는 가정이고, 이진 상태 가정은 어느 시점에 시스템은 두 가지 상태만 갖는 다는 가정이다. 여기에서 두 가지 상태는 동작하는 상태(functioning state)와 실패한 상태(failed state)가 된다[1].

시스템에 사용되는 데이터의 불확실성과 부정확성 때문에 많은 시스템에서 정확한 확률값을 추정하는 것은 매우 어려워진다. 그러므로 기본 가정을 다음과 같이 변경할 수가 있다. 첫 번째 가능성 가정이고 두 번째가 퍼지 상태 가정이다. 가능성 가정은 시스템의 동작은 가능성 척도 문맥에서 모두 특징지울 수 있다는 가정이고, 퍼지 상태 가정은 어느 시점에 시스템은 퍼지 성공 상태 또는 퍼지 실패 상태를 갖는다는 가정이다[2-4].

Singer는 시스템의 신뢰도 문제를 분석하는데 퍼지집합 접근법을 사용하는 것을 제안하고, 사건의 빈도수를 L-R퍼지 숫자로 표현하여 사건간의 허용한계(tolerance) 등을 평가하였다[5]. Cheng 등은 구간값을 얻기 위하여 수준-1 퍼지숫자의 α-cut을 사용하여 순차 시스템의 퍼지 신뢰도를 판단하였다[6]. 그러나 이 방법들은 구간을 이용하는 관계로 계산 시간이 걸리는 문제를 가지고 있었다. Chen은 계산 시간을 필요로 하는 Singer, Cheng 등의 문제점을 해결하기 위해 삼각퍼지숫자를 이용하여 더 빠른 계산이 가능한 방법을 제안하였다[7]. Chen은 퍼지집합의 소속값이 실수로 표현되는 문제를 해결하기 위해 시스템의 구성요소의 신뢰도를 모호집합으로 표현하여 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다[8]. Kumar 등은 해양발전소 시스템의 신뢰도를 평가하기 위해 구간값 사다리꼴 모호집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다[9]. Cho는 시스템의 구성요소들이 가중값을 갖는 시스템의 신뢰도를 구간값 모호집합을 이용하여 계산하는 방법을 제안하였다[10]. Fuh 등은 level(λ, 1) 구간값 퍼지 숫자를 이용하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 제안하였다[11]. 그러나 기존의 퍼지집합은 소속값을 실수로 표현하거나 구간으로 표현하여 신뢰도를 처리하였지만, 실세계에서 발생할 수 있는 불확정성(indeterminacy)은 처리하지 못하는 문제점을 가지고 있다. Cho는 불확정성을 처리할 수 있도록 확장된 단일값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 처리하는 방법을 제안하였다[12]. 그리고 Cho는 구간값 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 구간을 이용하여 평가하는 방법을 제안하였다[13].

본 논문에서는 불확정성을 다룰 수 있는 뉴트로소픽 집합의 하위 클래스인 단순 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법에 대하여 제안을 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 불확정성과 뉴트로소픽 집합에 대하여 소개를 한다. 제 3 장에서는 단순 뉴트로소픽 집합을 설명한다. 제 4 장에서는 단순 뉴트로소픽 집합을 이용하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 제안한다. 끝으로 제 5 장에서는 결론을 내린다.

2. 불확정성과 뉴트로소픽 집합

2.1 퍼지집합

Zadeh가 제안한 퍼지집합[15]은 불확실성(uncertainty)을 다루는데 많이 사용을 하고 있다. 퍼지집합에서 사용하는 소속값 $\mu_A(x)$는 0과 1 사이의 실수 범위를 갖는다. 즉, $\mu_A(x) \in [0,1]$.

그러나 소속값 자체가 불확실성을 가지는 경우가 발생할 수 있으므로 이를 해결하기 위해, Turksen은 구간값 퍼지집합(interval valued fuzzy set)을 제안하였다[16]. 구간값 퍼지집합의 소속값

$\mu_A(x)$는 0과 1 사이의 부분구간(sub interval) 범위를 갖는다. 즉, $\mu_A(x) \subseteq [0,1]$. $\mu_A(x)$ = $[\mu_{A^L}(x)$, $\mu_{A^U}(x)]$. 여기에서 0 ≤ $\mu_{A^L}(x)$ ≤ $\mu_{A^U}(x)$ ≤ 1.

소속값을 $\mu_A(x) \in [0,1]$ 또는 $\mu_A(x) \subseteq [0,1]$로 표현하는 방법은 증거(evidence)를 지지하거나 반하는 문제를 해결하지 못하였다. 믿음시스템(belief system) 등에서는 증거를 지지하는 참 소속함수(truth-membership function) 뿐만 아니라 증거에 반하는 거짓 소속함수(falsity-membership function)도 같이 고려해야만 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 Atanassov는 직관 퍼지집합(intuitionistic fuzzy set)을 제안하였다[17]. 직관 퍼지집합에서는 참 소속함수 $t_A(x)$와 거짓 소속함수 $f_A(x)$를 사용하여 불완전한 정보를 다루는 방법을 제공하고 있다. 여기에서 $t_A(x)$, $f_A(x) \in [0,1]$. 0 ≤ $t_A(x)$ + $f_A(x)$ ≤ 1. Gau 등은 모호집합[18]을 제안하였으나 이것은 직관 퍼지집합과 수학적으로 동치라는 것을 Bustince 등이 밝혔다[19].

2.2 불확정성

퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관퍼지집합 등에서는 불확정성(indeterminacy)을 다룰 수 있는 방법을 제공하지 못하고 있다. 불확정성을 처리할 수 있는 형식은 1995년 Smarandache가 철학적인 관점에서 뉴트로소픽 집합(neutrosophic set)의 개념을 처음으로 소개하면서 가능하게 되었다[20].

뉴트로소픽 집합 A는 전체집합 U 상에서 정의된다. x = x(T, I, F) ∈ A. T, I, F는 뉴트로소픽 요소로서 $]0^-, 1^+[$의 실수 표준 또는 비표준 부분집합으로 정의된다.

2.2.1 뉴트로소픽 집합

여기에서는 뉴트로소픽 집합에 대하여 간단하게 소개를 한다[20].

정의 1: X를 점들(point) 또는 개체들(object)의 공간(space)이라고 하자. X는 x로 표기하는 일반원소(generic element)를 갖는다. X에 있는 뉴트로소픽 집합(NS: neutrosophic set) A는 참 소속함수(truth-membership function) $T_A(x)$, 불확정 소속함수(indeterminacy-membership function) $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속함수(falsity-membership function) $F_A(x)$로 특정할 수가 있다. $T_A(x)$, $I_A(x)$ 그리고 $F_A(x)$는 $]0^-, 1^+[$의 실수 표준 또는 비표준 부분집합이다. 즉,

$$T_A(x)\colon \mathrm{X} \to\ ]0^-, 1^+[, \tag{1}$$

$$I_A(x)\colon \mathrm{X} \to\ ]0^-, 1^+[, \tag{2}$$

$$F_A(x)\colon \mathrm{X} \to\ ]0^-, 1^+[. \tag{3}$$

$T_A(x)$, $I_A(x)$ 그리고 $F_A(x)$의 합에 대해서는 제약조건이 없다. 그래서 0^- ≤ $\sup T_A(x)$ + $\sup I_A(x)$ + $\sup F_A(x)$ ≤ 3^+.

정의 2: X = $\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$에 대해 만일 NS A와 B가 $^\exists$x ∈ X에 대하여 $\inf T_A(x) \le \inf T_B(x)$, $\sup T_A(x) \le \sup T_B(x)$, $\inf I_A(x) \ge \inf I_B(x)$, $\sup I_A(x) \ge \sup I_B(x)$, $\inf F_A(x) \ge \inf F_B(x)$, $\sup F_A(x) \ge \sup F_B(x)$하다면 NS A는 NS B에 포함이 되며 A ⊆ B로 표기한다.

2.2.2 단일값 뉴트로소픽 집합

NS는 구체화시키지 않으면 과학이나 공학적인 측면에서 실세계에 적용하는 것이 어렵다는 문제

점을 가지고 있다. 즉, NS의 인스턴스(instance)를 정의해야만 실제 문제에 적용하는 것이 가능하게 된다. 여기에서는 NS를 실제 문제에 적용시키기 위한 단일값 뉴트로소픽 집합($SVNS$: single valued neutrosophic set)에 대하여 설명을 한다 [12, 21].

정의 3: X를 점들 또는 개체들의 공간이라고 하자. X는 x로 표기하는 일반 원소를 갖는다. $SVNS$ A는 참 소속함수 $T_A(x)$, 불확정 소속함수 $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속함수 $F_A(x)$로 특징지울 수 있다. $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$, $I_A(x)$ 그리고 $F_A(x)$∈ [0, 1]. 즉,

$$T_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{4}$$

$$I_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{5}$$

$$F_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1]. \tag{6}$$

정의 4: X = {x_1, x_2, ⋯, x_n}에 대해 만일 $SVNS$ A와 B가 어떤 $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$ ≤ $T_B(x)$, $I_A(x)$ ≥ $I_B(x)$, $F_A(x)$≥ $F_B(x)$하다면 $SVNS$ A는 $SVNS$ B에 포함되며 A ⊆ B로 표기한다.

2.2.3 구간값 뉴트로소픽 집합

여기에서는 NS의 또 다른 구체화인 구간값 뉴트로소픽 집합(interval valued neutrosophic set: $IVNS$)에 대하여 간단하게 기술한다[13, 22].

정의 5: X를 점들 또는 개체들의 공간이라고 하자. X는 x로 표기하는 일반 원소를 갖는다. $IVNS$ A는 참 소속함수 $T_A(x)$, 불확정 소속함수 $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속함수 $F_A(x)$로 특징지울 수 있다. $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$, $I_A(x)$ 그리고 $F_A(x)$⊆ [0, 1]. 즉,

$$T_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{7}$$

$$I_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{8}$$

$$F_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1]. \tag{9}$$

정의 6: X = {x_1, x_2, ⋯, x_n}에 대해 만일 $IVNS$ A와 B가 어떤 $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$ ≤ $T_B(x)$, $I_A(x)$ ≥ $I_B(x)$, $F_A(x)$≥ $F_B(x)$하다면 $IVNS$ A는 $IVNS$ B에 포함되며 A ⊆ B로 표기한다.

3. 단순 뉴트로소픽 집합

이 장에서는 단순 뉴트로소픽 집합(simplified neutrosophic set: SNS)에 대하여 소개를 한다[14]. SNS는 뉴트로소픽 집합의 인스턴스(instance)로 실제적으로 과학과 공학분야에서 사용하는 것이 가능하다.

정의 7: X를 점들 또는 개체들의 공간이라고 하자. X는 x로 표기하는 일반 원소를 갖는다. X에 있는 SNS A는 참 소속함수 $T_A(x)$, 불확정 소속함수 $I_A(x)$ 그리고 거짓 소속함수 $F_A(x)$로 규정할 수 있다. $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$, $I_A(x)$ 그리고 $F_A(x)$ ⇒ [0, 1]. 즉, 실수 표준 [0, 1] 안에서 단원소(singleton) 부분구간 또는 부분 집합이 된다.

$$T_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{10}$$

$$I_A(x) \colon \mathrm{X} \rightarrow [0,1], \tag{11}$$

$F_A(x)$: X → $[0,1]$. (12)

NS A를 단순화한 형식은 A = {<x, $T_A(x)$, $I_A(x)$, $F_A(x)$> | x ∈ X}로 표기하고 SNS라고 하고 NS의 하위 클래스가 된다.

정의 8: X = {x_1, x_2, ⋯, x_n}에 대해 만일 SNS A와 B가 $^\exists$x ∈ X에 대하여 $T_A(x)$ ≤ $T_B(x)$, $I_A(x)$ ≥ $I_B(x)$, $F_A(x)$≥ $F_B(x)$하다면 SNS A는 SNS B에 포함되며 A ⊆ B로 표기한다.

정의 9: SNS A = {<x, $T_A(x)$, $I_A(x)$, $F_A(x)$ | x ∈ X>이고 B = {<x, $T_B(x)$, $I_B(x)$, $F_B(x)$ | x ∈ X>라면 SNS 연산을 다음과 같이 정의할 수 있다[23].

1) A + B = <x, $T_A(x)+T_B(x)-T_A(x) \bullet T_B(x)$, $I_A(x) \bullet I_B(x)$, $F_A(x) \bullet F_B(x)$>, (13)

2) A • B = <x, $T_A(x) \bullet T_B(x)$, $I_A(x)+I_B(x)-I_A(x) \bullet I_B(x)$, $F_A(x)+F_B(x)-F_A(x) \bullet F_B(x)$> (14)

3) λA = <1-(1-$T_A(x)$)$^\lambda$, $(I_A(x))^\lambda$, $(F_A(x))^\lambda$>, λ > 0. (15)

4) A$^\lambda$ = <$(T_A(x))^\lambda$, 1-(1-$I_A(x)$)$^\lambda$, 1-(1-$F_A(x)$)$^\lambda$>, λ > 0. (16)

만일 SNS A에 있는 $T_A(x)$, $I_A(x)$, $F_A(x)$의 값이 실수 표준 [0, 1]내에서 하나의 점(point)으로만 고려한다면 SNS A는 실수 단위 구간 [0,1]에 있는 세 개의 실수로 기술할 수가 있다. 그러므로 $T_A(x)$, $I_A(x)$, $F_A(x)$ ∈ [0, 1]이고 이들의 합이 조건 0 ≤ $T_A(x)$ + $I_A(x)$ + $F_A(x)$ ≤ 3을 만족하게 된다. 이러한 경우 SNS A는 $SVNS$ A로 축소(reduce)된다.

만일 SNS A에 있는 $T_A(x)$, $I_A(x)$, $F_A(x)$의 소속 값이 실수 단위 구간 [0, 1]의 부분구간으로만 고려한다면 SNS A는 실수 단위 구간 [0,1]에 있는 세 개의 구간으로 기술할 수 있다. X에 있는 각 점(point) x에 대하여 $T_A(x)$=[inf$T_A(x)$, sup$T_A(x)$], $I_A(x)$=[inf$I_A(x)$, sup$I_A(x)$], $F_A(x)$=[inf$F_A(x)$, sup$F_A(x)$] ⊆ [0, 1]이고 $^\exists$x∈X에 대하여 0 ≤ sup$T_A(x)$ + sup$I_A(x)$ + sup$F_A(x)$ ≤ 3을 만족하게 된다. 이러한 경우 SNS A는 $IVNS$ A로 축소된다.

4. 시스템의 신뢰도 분석

이 장에서는 SNS을 이용하여 시스템의 신뢰도를 계산하는 방법을 제안한다. 전체 시스템의 신뢰도는 시스템 구성요소의 신뢰도를 기반으로 계산할 수가 있다.

순차 시스템의 일반적인 구성은 <그림 1>과 같다. 여기에서 구성요소 P_i의 신뢰도는 R_i로 표기한다. 신뢰도 R_i를 SNS로 표기하면 R_i = <$T(P_i)$, $I(P_i)$, $F(P_i)$>이다. $T(P_i)$, $I(P_i)$, $F(P_i)$ ⇒ [0,1].

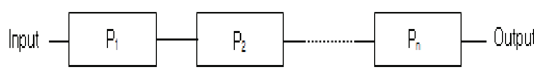

그림 1 순차 시스템의 구성
Figure 1. configuration of serial systems

순차 시스템의 전체 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned} R &= \prod_{i=1}^{n} R_i \\ &= R_1 \bullet R_2 \bullet \cdots \bullet R_n \end{aligned}$$

i) $SNS\ \langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow [0,1]$가 $T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i) \in [0,1]$로 축소되는 경우

$$\begin{aligned} &= \langle T(P_1),\ I(P_1),\ F(P_1)\rangle \bullet \langle T(P_2),\ I(P_2),\ F(P_2)\rangle \bullet \cdots \bullet \langle T(P_n),\ I(P_n),\ F(P_n)\rangle \\ &= \langle \prod_{i=1}^{n} T(P_i),\ \sum_{i=1}^{n} I(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n} I(P_i)I(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} I(P_i)I(P_j)I(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} I(P_i), \\ &\quad \sum_{i=1}^{n} F(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n} F(P_i)F(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} F(P_i)F(P_j)F(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} F(P_i)\rangle. \end{aligned} \tag{17}$$

ii) $SNS\ \langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow [0,1]$가 $T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i) \subseteq [0,1]$로 축소되는 경우

$$\begin{aligned} &= \langle(\inf T(P_1),\ \sup T(P_1)),\ (\inf I(P_1),\ \sup I(P_1)),\ (\inf F(P_1),\ \sup F(P_1)\rangle \bullet \langle(\inf T(P_2),\ \sup T(P_2)),\ (\inf I(P_2),\ \sup I(P_2)),\ (\inf F(P_2),\ \sup F(P_2)\rangle \\ &\quad \bullet \cdots \bullet \langle(\inf T(P_n),\ \sup T(P_n)),\ (\inf I(P_n),\ \sup I(P_n)),\ (\inf F(P_n),\ \sup F(P_n)\rangle \\ &= \langle(\prod_{i=1}^{n}\inf T(P_i),\ \prod_{i=1}^{n}\sup T(P_i)),\ (\sum_{i=1}^{n}\inf I(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\inf I(P_i)\inf I(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n}\inf I(P_i)\inf I(P_j)\inf I(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\inf I(P_i), \\ &\quad \sum_{i=1}^{n}\sup I(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\sup I(P_i)\sup I(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n}\sup I(P_i)\sup I(P_j)\sup I(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\sup I(P_i)), \\ &\quad (\sum_{i=1}^{n}\inf F(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\inf F(P_i)\inf F(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n}\inf F(P_i)\inf F(P_j)\inf F(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\inf F(P_i),\ \sum_{i=1}^{n}\sup F(P_i) - \\ &\quad \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\sup F(P_i)\sup F(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n}\sup F(P_i)\sup F(P_j)\sup F(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\sup F(P_i))\rangle. \end{aligned} \tag{18}$$

여기에서 $(\sum_{i=1}^{n}\inf I(P_i) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\inf I(P_i)\inf I(P_j) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n}\inf I(P_i)\inf I(P_j)\inf I(P_k) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\inf I(P_i)$는 포함배제의 원리를 적용하여 구할 수 있다.

병렬 시스템은 <그림 2>와 같이 구성된다. 여기에서 P_i의 신뢰도는 R_i로 표기한다. 신뢰도 R_i를 SNS로 표기하면 $R_i = \langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle$이다. $T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i) \Rightarrow [0,1]$.

그<림 2>와 같은 병렬 시스템 신뢰도 R은 다음과 같이 평가할 수 있다.

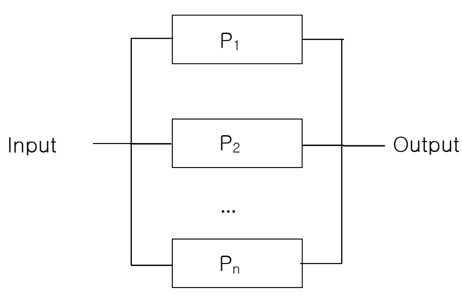

그림 2 병렬 시스템의 구성
Figure 2. configuration of parallel systems

$$\begin{aligned} R &= 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - R_i) \\ &= 1 - ((1 - R_1) \bullet (1 - R_2) \bullet \cdots \bullet (1 - R_n)) \end{aligned}$$

ⅰ) $SNS\langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow$ [0,1]가 $T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i) \in$ [0,1]로 축소되는 경우

$$= 1 - ((1 - \langle T(P_1),\ I(P_1),\ F(P_1)\rangle) \bullet (1 - \langle T(P_2),\ I(P_2),\ F(P_2)\rangle) \bullet \cdots \bullet (1 - \langle T(P_n),\ I(P_n),\ F(P_n)\rangle))$$

$$= 1 - (\langle \min(1,\ F(P_1)),\ \min(1,\ 1-I(P_1)),\ \max(1,\ T(P_1))\rangle \bullet \langle \min(1,\ F(P_2)),\ \min(1,\ 1-I(P_2)),\ \max(1,\ T(P_2)\rangle \bullet \cdots \bullet \langle \min(1,\ F(P_n)),\ \min(1,\ 1-I(P_2)),\ \max(1,\ T(P_n))\rangle)$$

$$= 1 - \langle \prod_{i=1}^{n}\min(1,\ F(P_i)),\ \sum_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i))\min(1,\ 1-I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i))\min(1,\ 1-I(P_j))\min(1,\ 1-I(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i)),\ \sum_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))\max(1,\ 1-T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))\max(1,\ 1-T(P_j))\max(1,\ 1-T(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))\rangle$$

$$= \langle \min(1,\ \sum_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))\max(1,\ 1-T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))\max(1,\ 1-T(P_j))\max(1,\ 1-T(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-T(P_i))),\ \min(1,\ \sum_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i))\min(1,\ 1-I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i))\min(1,\ 1-I(P_j))\min(1,\ 1-I(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-I(P_i))),\ \max(1,\ \prod_{i=1}^{n}\min(1,\ F(P_i)))\rangle. \tag{19}$$

ⅱ) $SNS\langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow$ [0,1]가 $T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i) \subseteq$ [0,1]로 축소되는 경우

$$= 1 - ((1 - \langle(\inf T(P_1),\ \sup T(P_1)),\ (\inf I(P_1),\ \sup I(P_1)),\ (\inf F(P_1),\ \sup F(P_1))\rangle) \bullet (1 - \langle(\inf T(P_2),\ \sup T(P_2)),\ (\inf I(P_2),\ \sup I(P_2)),\ (\inf F(P_2),\ \sup F(P_2))\rangle) \bullet \cdots \bullet (1 - \langle(\inf T(P_n),\ \sup T(P_n)),\ (\inf I(P_n),\ \sup I(P_n)),\ (\inf F(P_n),\ \sup F(P_n))\rangle))$$

$$= 1 - (\langle(\prod_{i=1}^{n}\min(1,\ \inf F(P_i)),\ \prod_{i=1}^{n}\min(1,\ \sup F(P_i))),\ (\sum_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-\inf I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\min(1,\ 1-\inf I(P_i))\min(1,\ 1-\inf I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\min(1,\ 1-\inf I(P_i))\min(1,\ 1-\inf I(P_j))\min(1,\ 1-\inf I(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-\inf I(P_i)),\ \sum_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-\sup I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\min(1,\ 1-\sup I(P_i))\min(1,\ 1-\sup I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\min(1,\ 1-\sup I(P_i))\min(1,\ 1-\sup I(P_j))\min(1,\ 1-\sup I(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\min(1,\ 1-\sup I(P_i))),\ (\sum_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-\inf T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\max(1,\ 1-\inf T(P_i))\max(1,\ 1-\inf T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\max(1,\ 1-\inf T(P_i))\max(1,\ 1-\inf T(P_j))\max(1,\ 1-\inf T(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-\inf T(P_i)),\ \sum_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-\sup T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1\\ i<j}}^{n}\max(1,\ 1-\sup T(P_i))\max(1,\ 1-\sup T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1\\ i<j<k}}^{n}\max(1,\ 1-\sup T(P_i))\max(1,\ 1-\sup T(P_j))\max(1,\ 1-\sup T(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n}\max(1,\ 1-\sup T(P_i)))\rangle)$$

$$
\begin{aligned}
&= \langle (\min(1,\ \sum_{i=1}^{n} \max(1,\ 1\text{-}\inf T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n} \max(1,\\
&1\text{-}\inf T(P_i)\max(1,\ 1\text{-}\inf T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} \max(1,\\
&1\text{-}\inf T(P_i)\max(1,\ 1\text{-}\inf T(P_j)\max(1,\ 1\text{-}\inf T(P_k)) -\\
&\cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} \max(1,\ 1\text{-}\inf T(P_i))),\ \min(1,\ \sum_{i=1}^{n}\\
&\max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_i)) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n} \max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_i)\\
&\max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_j)) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} \max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_i)\\
&\max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_j)\max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_k)) - \cdots +\\
&(-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} \max(1,\ 1\text{-}\sup T(P_i)))),\ (\min(1,\ \sum_{i=1}^{n} \min(1,\\
&1\text{-}\inf I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n} \min(1,\ 1\text{-}\inf I(P_i)\min(1,\ 1\text{-}\inf\\
&I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} \min(1,\ 1\text{-}\inf I(P_i)\min(1,\ 1\text{-}\inf\\
&I(P_j))\min(1,\ 1\text{-}\inf I(P_k)) - \cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} \min(1,\\
&1\text{-}\inf I(P_i))),\ \min(1,\ \sum_{i=1}^{n} \min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_i)) - \sum_{\substack{i=1 \\ i<j}}^{n}\\
&\min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_i)\min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_j)) + \sum_{\substack{i=1 \\ i<j<k}}^{n} \min(1,\\
&1\text{-}\sup I(P_i)\min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_j))\min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_k)) -\\
&\cdots + (-1)^{n-1}\prod_{i=1}^{n} \min(1,\ 1\text{-}\sup I(P_i)))),\ (\max(1,\ \prod_{i=1}^{n}\\
&\min(1,\ \inf F(P_i))),\ \max(1,\ \prod_{i=1}^{n} \min(1,\ \sup F(P_i))))\rangle.
\end{aligned}
\tag{20}
$$

5. 결 론

본 논문에서는 단순 뉴트로소픽 집합을 이용하여 순차 시스템과 병렬 시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 단순 뉴트로소픽 집합은 기존의 퍼지집합, 구간값 퍼지집합, 직관 퍼지집합이 표현할 수 없는 불확정성을 표현할 수 있는 근거를 제공한다. 그리고 SNS $\langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow [0,1]$가 $T(P_i)$, $I(P_i)$, $F(P_i) \in [0,1]$로 축소되는 경우에는 이 SNS는 $SVNS$가 되고, SNS $\langle T(P_i),\ I(P_i),\ F(P_i)\rangle \Rightarrow [0,1]$가 $T(P_i)$, $I(P_i)$, $F(P_i) \subseteq [0,1]$로 축소되는 경우에는 SNS는 $IVNS$로 축소된다. 그러므로 $SVNS$, $IVNS \subseteq SNS$가 된다. 본 연구에서 제안한 방법은 시스템의 불확정성을 실수, 구간 또는 실수/구간으로 표현할 수 있는 시스템의 신뢰도를 평가하는 데 적용하는 것이 가능하다.

References

[1] A. Kaufmann, and M. M. Gupla, *Fuzzy mathematical models in engineering and management science*, North-Holland, Amsterdam, 1988.

[2] K. Y. Cai, C. Y. Wen, and M. L. Zhang, *Fuzzy variables as a basis for a theory of fuzzy reliability in the possibility context*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 42, pp. 145-172, 1991.

[3] K. Y. Cai, C. Y. Wen, and M. L. Zhang, *Pobist reliability behavior of typical systems with two types of failure*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 43, pp. 17-32, 1991.

[4] K. Y. Cai, C. Y. Wen, and M. L. Zhang, *Fuzzy reliability modeling of gracefully degradable computing systems*, Reliability Engineering and System Safety, Vol. 33, pp. 141-157, 1991.

[5] D. Singer, *A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, pp. 145-155, 1990.

[6] C-H. Cheng, and D-L. Mon, *Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 56, pp. 29-35, 1993.

[7] S. M. Chen, *Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, pp. 31-38, 1994.

[8] S. M. Chen, *Analysis fuzzy system reliability using vague set theory*, Int'l Jl. of Applied Science and Engineering, Vol. 1, pp. 82-88, 2003.

[9] A. Kumar, S. P. Yadav, and S. Kumar, *Fuzzy reliability of a marine power plant using interval valued vague sets*, Int'l Jl. of Applied Science Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 71-82, 2006.

[10] S. Y. Cho, *Reliability analysis of fuzzy systems with weighted components using interval valued vague sets*, Jl. of The Korea Knowledge Information Technology Society, Vol. 3, No. 2, pp. 31-40, 2008.

[11] C. F. Fuh, R. Jea, and J. S. Su, *Fuzzy system reliability analysis based on level $(\lambda,1)$ interval-valued fuzzy numbers*, Information Sciences, Vol. 272, pp. 185-197, 2014.

[12] S. Y. Cho, *Reliability analysis of systems using single valued neutrosophic sets*, Jl. of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 10, No. 4, pp. 447-453, 2015.

[13] S. Y. Cho, *Reliability analysis of systems using interval valued neutrosophic sets*, Jl. of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 10, No. 5, pp. 593-601, 2015.

[14] J. Ye, *A multicriteria decision-making method using aggregation operators for simplified neutrosophic sets*, Jl. of Intelligent and Fuzzy Systems, Vol. 26, No. 5, pp. 2459-2466, 2014.

[15] L. Zadeh, *Fuzzy sets*, Inform and Control, Vol. 8, pp. 338-353, 1965.

[16] I. Turksen, *Interval valued fuzzy sets based on normal forms*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 20, pp. 191-210, 1986.

[17] K. Atanassov, *Intuitionistic fuzzy sets*. Fuzzy Sets and Systems Vol. 20, pp. 87-96, 1986.

[18] W. L. Gau, and D. J. Buehrer, *Vague sets*, IEEE Trans. on SMC, Vol. 23, No. 2, pp. 610-614, 1993.

[19] H. Bustince, and P. Burillo, *Vague sets are intuitionistic fuzzy sets*, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 79, No. 3, pp. 403-405, 1996.

[20] F. Smarandache, *A unifying field in logics, Neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. Rehoboth: American research press, 1999.

[21] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, *Single valued neutrosophic stes*, Multispace and multistructure, Vol. 4, pp. 410-413, 2010.

[22] H. Wang, F. Smarandache, Y. Q. Zhang, and R. Sunderraman, *Interval neutrosophic stes and logic: Theory and applications In computing*, Hexis, Phoenix, Ariz, USA, 2005.

[23] J-J. Peng, J-Q. Wang, H-Z. Zhang, and X-H. Chen, *An outrangking approach for multi-criteria decision-making problems with simplified neutrosophic sets*, Applied Soft Computing, Vol. 25, pp. 336-346, 2014.

단순 뉴트로소픽 집합을 이용한 시스템의 신뢰도 분석

조상엽
청운대학교 인터넷학과

요 약

불확정성은 철학의 한 분야로 불확정성의 기원, 성질 그리고 범위 뿐 만 아니라 서로 다른 스펙트럼들을 가지는 이들 간의 상호작용을 연구하는 분야이다. 뉴트로소픽 집합은 강력하고 일반적인 형식을 갖는 틀(framework)이고 철학적인 관점에서 기존의 집합, 퍼지 집합, 구간값 퍼지 집합, 직관 퍼지집합 그리고 구간값 직관 퍼지 집합의 개념을 일반화한 것 이다. 그러나 뉴트로소픽 집합은 $]0^-, 1^+[$의 실수 표준 그리고 비표준 부분집합에서 정의되기 때문에 실제 과학과 공학 분야에서 적용하는데 어려움이 있다. 따라서 많은 연구자들이 실 세계의 문제를 해결할 수 있는 뉴트로소픽 집합의 하위클래스를 제안하였다. 뉴트로소픽 집합의 하위클래스에는 단일값 뉴트로소픽 집합, 구간값 뉴트로소픽 집합, 단순 뉴트로소픽 집합 등이 있다. 단순 뉴트로소픽 집합은 단일값 뉴트로소픽 집합과 구간값 뉴트로소픽 집합의 개념을 포함하고 있다. 본 논문에서는 단순 뉴트로소픽 집합에 기반을 둔 시스템 신뢰도를 평가하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 $SVNS$, $IVNS \subseteq SNS$이므로 불확정성을 점, 구간 그리고 점/구간으로 다룰 수 있다.

Sang Yeop Cho received the bachelor's degree in the Department of Computer Engineering from the Hannam University in 1986. He received the M.S. degree and the Ph.D. degree in the Department of Computer Engineering from Chungang University in 1988 and 1993, respectively. He is currently a professor in the Department of Internet at Chungwoon University, Incheon, Korea. He has been invited the publicity chair and received outstanding leadership award in the international conference on computer convergence technology 2011. His current research interests include artificial intelligence, intelligent systems, fuzzy sets, neutrosophic sets. He is a life member of the KKITS.

E-mail address: sycho@chungwoon.ac.kr