

구간값 모호집합에 기반을 둔 퍼지시스템의 신뢰도 분석

Reliability Analysis of Fuzzy Systems Based on Interval Valued Vague Sets

이세열* · 조상엽** · 김용수****

Se-Yul Lee*, Sang-Yeop Cho**, and Yong-Soo Kim****

* 청운대학교 컴퓨터학과

** 청운대학교 인터넷학과

*** 대전대학교 컴퓨터공학과

요 약

퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 위해서 기존의 연구에서는 퍼지시스템의 구성요소의 신뢰도를 0과 1사이의 실수, 퍼지숫자, 신용구간, 모호집합, 구간값 퍼지집합 등으로 표현하였다. 본 논문에서 우리는 전체집합 $[0, 1]$ 에서 정의되는 구간값 모호집합을 기반으로 퍼지시스템의 신뢰도를 표현하고 분석하는 방법을 제안한다. 구간값 모호집합에서는 기존 모호집합[12, 14]의 상한과 하한을 각각 구간으로 표현한다. 그러므로 퍼지시스템의 신뢰도를 더 유연한 방법으로 표현하고 분석하는 것을 가능하게 한다. 제안한 방법은 Kumar[14]가 언급한 복잡한 퍼지 사다리꼴숫자 연산보다는 퍼지 삼각숫자의 간단한 산술연산을 사용하기 때문에 제안된 방법의 실행속도는 기존의 방법보다 실행이 더 빠르다.

키워드 : 신뢰도분석, 퍼지시스템, 모호집합, 구간값 삼각 모호집합

Abstract

In order to analyze the reliabilities of the fuzzy systems, the reliabilities of the components in the fuzzy systems are represented by real values between zero and one, fuzzy numbers, intervals of confidence, vague sets, interval valued fuzzy sets, etc in the conventional researches. In this paper, we propose a method to represent and analyze the reliabilities of the fuzzy systems based on the interval valued vague sets defined in the universe of discourse $[0, 1]$. In the interval valued vague sets, the upper bounds and the lower bounds of the conventional vague sets[12, 14] are represented as the intervals. Therefore, it can allow the reliabilities of a fuzzy system to represent and analyze in a more flexible manner. Because the proposed method uses the simplified arithmetic operations of the fuzzy triangular numbers rather than the complicated of the fuzzy trapezoidal numbers mentioned by Kumar[14], the execution of the proposed method is faster than the one.

Key Words : Reliability Analysis, Fuzzy Systems, Vague Sets, Interval Valued Triangular Vague Sets

1. 서 론

신뢰도공학 분야에서 가장 중요한 작업 중에 하나가 신뢰도 모형화라는 것은 잘 알려져 있다[1]. 이진상태가정과 확률가정에 기반을 둔 확률적도를 이용하는 기존의 신뢰도공학은 실제계에서 발생하는 사람의 오류와 자료의 부정확성과 불확실성 때문에 정확하게 값을 평가하고 분석하는 일이 매우 어려워지게 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 시스템의 신뢰도를 평가하는데 퍼지집합이론[2]을 사용하는 연구가 발표되기 시작하였다[3-15].

Singer[3]는 결함나무(fault tree)와 신뢰도 분석에 퍼지집합 접근법을 제안하였다. 여기에서는 기존 사건의 상대적인 빈도수를 L-R형 퍼지숫자로 표현하고 퍼지숫자의 확장된 대수적 연산으로 중간값(mean value)과 선두사건(head

event)의 허용한계(tolerance)를 평가하였다. Cai 등[4-6]은 기존의 신뢰도 공학에서 사용한 이진상태가정과 확률가정이 가지는 문제점을 해결하기 위해 퍼지상태가정(fuzzy state assumption)과 가능성가정(possibility assumption)이라는 다음과 같은 두 가지 가정을 제안하였다.

퍼지상태가정 : 시스템의 실패와 성공의 의미는 합리적인 방법으로 자세하게 정의할 수 없다. 그래서 어느 때이던지 시스템은 퍼지 성공상태나 퍼지 실패상태 중 한 가지 상태에 있는 것으로 생각할 수 있다.

가능성가정 : 시스템의 동작은 가능성적으로 완전하게 기술할 수 있다.

Cheng 등[7]은 퍼지실수의 α -수준집합을 신용구간(interval of confidence)이라 부르고, 이를 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. 여기에서는 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하기 위해서 퍼지숫자의 구간 산술연산을 이용하였다. Chen[8]은 많은 계산시간을 필요로 하는 [3, 7]의 문제를 해결하기 위해 삼각퍼지숫자의 단순화된 구조의 장점을 이용하여 더 빠른 퍼지산술연산이 가능한

접수일자 : 2008년 4월 4일

완료일자 : 2008년 6월 9일

+ 교신저자

방법을 제안하였다. Mon 등[9]은 서로 다른 소속함수를 갖는 구성요소에 대하여 비선형 프로그램 방법을 적용하여 퍼지 시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. Utkin 등[10]은 가능성을 이용하여 다양한 시스템의 퍼지신뢰도 분석을 위해 연립함수 방정식(system of functional equations)을 사용하는 방법을 제안하였다. Cai[11]는 시스템실 패공학을 소개하고 퍼지방법론의 사용법을 제안하였다. Chen[12]은 시스템의 구성요소에 대한 신뢰도를 모호집합(vague set)으로 표현하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. Wu[13]는 퍼지환경에서 베이지언 신뢰도 평가를 하기위해 기존의 베이지언 추정방법(estimation)을 퍼지집합이론의 분해원리(resolution identity)를 이용하여 신뢰도의 퍼지 베이지언 점 추정자를 생성하여 사용하는 방법을 제안하였다. Kumar 등[14]은 구간값 사다리꼴 모호집합(interval valued trapezoidal vague set)을 이용하여 해양발전소 시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다. 조상엽 등[15]은 모호집합을 이용하여 가중 구성요소를 가지는 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 모호집합[16]의 상한과 하한을 구간값 퍼지집합[17]의 개념을 적용하여 각각 구간으로 표현하는 구간값 삼각 모호집합을 설명하고, 퍼지시스템을 구성하는 구성요소의 신뢰도를 구간값 삼각 모호집합으로 표현하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방법은 단순히 모호집합을 사용하는 Chen[12]와 조상엽 등[15]의 방법에 비해 모호집합의 상한과 하한을 각각 구간으로 표현하는 구간값 삼각 모호집합을 사용하기 때문에 퍼지시스템의 신뢰도를 모형화하고 분석하는데 더 유연성을 갖는다. 그리고 계산 시간이 많이 걸린다는 문제점을 가지고 있는 구간값 사다리꼴 모호집합을 사용하는 방법[14]보다 단순화된 삼각퍼지숫자의 장점을 이용하는 구간값 삼각 모호집합을 사용하기 때문에 더 빠른 산술연산이 가능하므로 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는데 효과적이다.

논문의 구성은 2장에서 구간값 삼각 모호집합에 대해 간단한 소개와 3장에서의 구간값 삼각 모호집합을 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 그리고 4장에서의 예시를 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 기술한다.

2. 구간값 삼각 모호집합

이 장에서는 모호집합과 구간값 퍼지집합을 기반으로 하여 구간값 삼각 모호집합을 소개한다[12, 18]. 모호집합과 구간값 퍼지집합은 Zadeh[2]가 제안한 퍼지집합이론을 기반으로 Gau 등[16]과 Tucksen[17]이 각각 제안하였다. 여기에서 구간값 퍼지집합과 모호집합의 개념을 간단히 살펴보고 구간값 삼각 모호집합의 개념을 소개한다.

정의 1 U를 전체집합 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 이라고 하자. 구간값 퍼지집합 F는 함수 $T_F: U \rightarrow D([0,1])$ 로 표현한다. 여기에서 $D([0,1])$ 는 $[0,1]$ 내에 있는 모든 구간의 집합이다. 즉 $\forall u \in U, T_F(u)$ 는 구간 $[\mu_1, \mu_2]$ 이다. $0 \leq \mu_1 \leq \mu_2 \leq 1$.

정의 2 전체집합 U에서 모호집합 A는 참소속함수(truth membership function) $t_A: U \rightarrow D([0,1])$ 과 거짓소속함수(false membership function) $f_A: U \rightarrow D([0,1])$ 로 구성한다.

여기에서 $t_A(u_i)$ 는 u_i 에 대한 증거에서 유도되는 u_i 의 소속정도의 하한이고, $f_A(u_i)$ 는 u_i 에 반하는 증거에서 유도되는 u_i 에 대한 부정의 하한이다. $t_A(u_i)+f_A(u_i) \leq 1$. $D([0,1])$ 는 $[0,1]$ 내에 있는 모든 구간의 집합이다. 즉 $\forall u \in U, T_F(u)$ 는 구간 $[\mu_1, \mu_2]$ 이다. $0 \leq \mu_1 \leq \mu_2 \leq 1$. 모호집합 A에 있는 u_i 의 소속정도 $\mu_A(u_i)$ 는 $[0,1]$ 의 부분구간인 $[t_A(u_i), 1-f_A(u_i)]$ 로 한정된다. 모호값 $[t_A(u_i), 1-f_A(u_i)]$ 은 u_i 의 정확한 소속정도 $\mu_A(u_i)$ 가 $t_A(u_i) \leq \mu_A(u_i) \leq 1-f_A(u_i)$ 로 한정된다는 것을 가리킨다. $t_A(u_i)+f_A(u_i) \leq 1$. 전체집합 U의 모호집합 A가 그림 1에 있다.

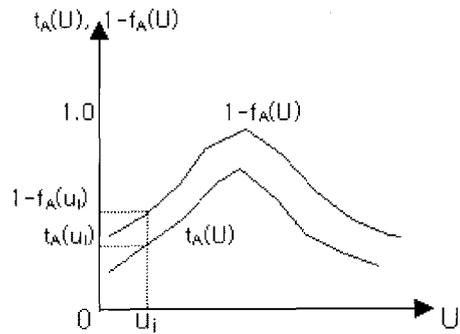


그림 1. 모호집합
Fig. 1. Vague Sets

전체집합 U가 이산집합일 때, U의 모호집합 A는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A = \sum_{i=1}^n [t_A(u_i), 1-f_A(u_i)]/u_i, u_i \in U. \quad (1)$$

전체집합 U가 연속집합일 때, U의 모호집합 A는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A = \int_U [t_A(u_i), 1-f_A(u_i)]/u_i, u_i \in U. \quad (2)$$

정의 3 $A=[a_1, a_2]$ 와 $B=[b_1, b_2]$ 가 임의의 구간이라고 하면 A와 B의 최소값은 $\text{Min}[A, B]$ 로 표현하고, $\text{Min}([a_1, a_2], [b_1, b_2]) = [\text{Min}(a_1, b_1), \text{Min}(a_2, b_2)]$ 로 정의한다.

정의 4 구간 $A=[a_1, a_2]$ 의 보수(complement)는 A' 로 표현하고 $A'=[1-a_2, 1-a_1]$ 로 정의한다.

정의 5 전체집합 U의 구간값 모호집합 A는 다음과 같은 형식으로 정의된다.

$$A = \langle [u_i; t_A(u_i); 1-f_A(u_i)] \rangle, u_i \in U. \quad (3)$$

여기에서 $t_A(u_i)$ 는 참소속함수 $t_A: U \rightarrow D([0,1])$ 이고 $f_A(u_i)$ 는 거짓소속함수 $f_A: U \rightarrow D([0,1])$ 이다. $D([0,1])$ 는 $[0,1]$ 내에 있는 모든 구간의 집합이다.

정의 6 A가 전체집합 U의 모호집합이고, 참소속함수 t_A 와 거짓소속함수 f_A 를 갖는다고 하자. 모호집합 A는 U에 있는 모든 u_1 과 u_2 에 대하여 식 (4)과 (5)를 만족하면 볼록(convex)이다.

$$t_A(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \text{Min}(t_A(u_1), t_A(u_2)). \quad (4)$$

$$1-f_A(\lambda u_1 + (1-\lambda)u_2) \geq \text{Min}(1-f_A(u_1), 1-f_A(u_2)) \quad (5)$$

여기에서 $\lambda \in [0,1]$.

정의 7 만일 $\exists u_i \in U$, s.t. $1-f_A(u_i)=1$ 이면 즉, $f_A(u_i)=0$ 이면 전체집합 U의 모호집합 A는 정상(normal) 모호집합이다.

정의 8 구간값 모호숫자는 전체집합 U의 구간값 삼각 모호 집합은 볼록이고 정상인 구간값 삼각 부분 모호집합이다.

정의 9 전체집합 U의 구간값 삼각 모호집합A는 다음과 같이 표현한다.

$$A = \langle [(a, b, c); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle, 0 \leq \mu_{11} \leq \mu_{12} \leq v_{11} \leq v_{12} \leq 1.$$

구간값 삼각 모호집합이 그림 2에 있다.

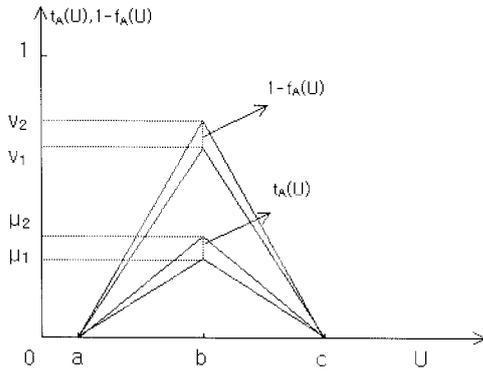


그림 2. 구간값 모호집합

Fig. 2. Interval Valued Vague Sets

구간값 삼각 모호집합 A와 B가 그림 3과 같이 있다고 하자. 이들의 산술연산은 다음과 같이 정의한다.

$$A = \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle,$$

$$B = \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle.$$

여기에서, $0 \leq \mu_{11} \leq \mu_{21} \leq \mu_{12} \leq \mu_{22} \leq v_{11} \leq v_{21} \leq v_{12} \leq v_{22} \leq 1$.

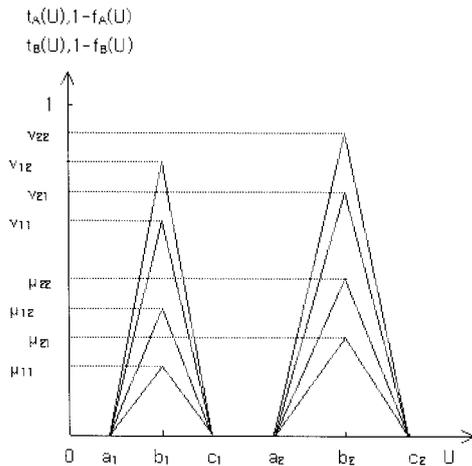


그림 3. 구간값 모호집합 A와 B

Fig. 3. Interval Valued Vague Sets A & B

구간값 삼각 모호집합 A와 B 사이의 산술연산은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} A \oplus B &= \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle \\ &\oplus \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle \\ &= \langle [(a_1+a_2, b_1+b_2, c_1+c_2); [\text{Min}(\mu_{11}, \mu_{21}), \text{Min}(\mu_{12}, \mu_{22})]; \\ &[\text{Min}(v_{11}, v_{21}), \text{Min}(v_{12}, v_{22})]] \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B \ominus A &= \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle \\ &\ominus \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle \\ &= \langle [(a_2-c_1, b_2-b_1, c_2-a_1); [\text{Min}(\mu_{11}, \mu_{21}), \text{Min}(\mu_{12}, \mu_{22})]; \\ &[\text{Min}(v_{11}, v_{21}), \text{Min}(v_{12}, v_{22})]] \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \otimes B &= \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle \\ &\otimes \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle \\ &= \langle [(a_1 \times a_2, b_1 \times b_2, c_1 \times c_2); [\text{Min}(\mu_{11}, \mu_{21}), \text{Min}(\mu_{12}, \mu_{22})]; \\ &[\text{Min}(v_{11}, v_{21}), \text{Min}(v_{12}, v_{22})]] \rangle \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B \oslash A &= \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle \\ &\oslash \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle \\ &= \langle [(a_2/c_1, b_2/b_1, c_2/a_1); [\text{Min}(\mu_{11}, \mu_{21}), \text{Min}(\mu_{12}, \mu_{22})]; \\ &[\text{Min}(v_{11}, v_{21}), \text{Min}(v_{12}, v_{22})]] \rangle \end{aligned}$$

3. 퍼지시스템의 신뢰도 분석

이 장에서는 구간값 삼각 모호집합에 기반을 둔 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하는 방법을 제안한다. 퍼지시스템의 신뢰도를 분석하기 위해 시스템의 구성요소가 가지는 신뢰도는 전체집합 [0, 1]에서 정의되는 구간값 삼각 모호집합으로 표현한다.

순차시스템은 그림 4와 같이 생각할 수가 있다[3, 7, 8, 12]. 여기에서 하위시스템 P_i의 신뢰도는 구간값 삼각 모호 집합 R_i, R_i = $\langle [(a_i, b_i, c_i); [\mu_{i1}, \mu_{i2}]; [v_{i1}, v_{i2}]] \rangle$, $0 \leq \mu_{i1} \leq \mu_{i2} \leq v_{i1} \leq v_{i2} \leq 1$, $1 \leq i \leq n$ 로 표기할 수 있다.

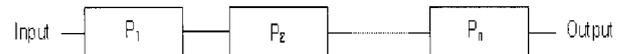


그림 4. 순차시스템의 구성

Fig. 4. Configuration of a Serial System

그림 4와 같은 순차시스템의 신뢰도 P는 구성요소의 신뢰도를 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned} P &= \prod_{i=1}^n R_i \\ &= R_1 \otimes R_2 \otimes \dots \otimes R_n \\ &= \langle [(a_1, b_1, c_1); [\mu_{11}, \mu_{12}]; [v_{11}, v_{12}]] \rangle \\ &\otimes \langle [(a_2, b_2, c_2); [\mu_{21}, \mu_{22}]; [v_{21}, v_{22}]] \rangle \\ &\otimes \dots \otimes \langle [(a_n, b_n, c_n); [\mu_{n1}, \mu_{n2}]; [v_{n1}, v_{n2}]] \rangle \\ &= \langle [(\prod_{i=1}^n a_i, \prod_{i=1}^n b_i, \prod_{i=1}^n c_i); [\prod_{i=1}^n \mu_{i1}, \prod_{i=1}^n \mu_{i2}]; [\prod_{i=1}^n v_{i1}, \prod_{i=1}^n v_{i2}]] \rangle \end{aligned}$$

여기에서 \cap 는 Min 연산자이다.

병렬시스템은 그림 5와 같이 생각할 수 있다[3, 7, 8, 12]. 여기에서 하위시스템 P_i의 신뢰도는 구간값 삼각 모호집합 R_i, R_i = $\langle [(a_i, b_i, c_i); [\mu_{i1}, \mu_{i2}]; [v_{i1}, v_{i2}]] \rangle$, $0 \leq \mu_{i1} \leq \mu_{i2} \leq v_{i1} \leq v_{i2} \leq 1$, $1 \leq i \leq n$ 로 표기할 수 있다.

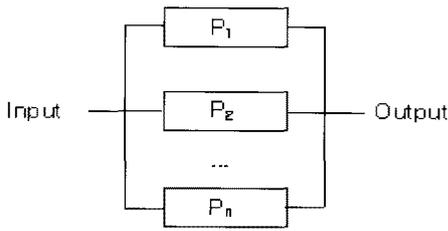


그림 5. 병렬시스템의 구성
Fig. 5. Configuration of a Parallel System

그림 5와 같은 병렬시스템의 신뢰도 P는 구성요소의 신뢰도를 고려하여 다음과 같이 평가할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P &= 1 \ominus \prod_{i=1}^n (1 \ominus R_i) \\
 &= 1 \ominus \prod_{i=1}^n (1 \ominus \langle [(a_i, b_i, c_i); [\mu_{i1}, \mu_{i2}]; [v_{i1}, v_{i2}]] \rangle) \\
 &= 1 \ominus \prod_{i=1}^n (\langle [(1, 1, 1); [1, 1]; [1, 1]] \rangle \ominus \langle [(a_i, b_i, c_i); [\mu_{i1}, \mu_{i2}]; [v_{i1}, v_{i2}]] \rangle) \\
 &= 1 \ominus \langle [(\prod_{i=1}^n (1 - c_i), \prod_{i=1}^n (1 - b_i), \prod_{i=1}^n (1 - a_i)); [\text{Min}(1, \mu_{i1}), \text{Min}(1, \mu_{i2})]; [\text{Min}(1, v_{i1}), \text{Min}(1, v_{i2})]] \rangle \\
 &= \langle [1 - \prod_{i=1}^n (1 - a_i), 1 - \prod_{i=1}^n (1 - b_i), 1 - \prod_{i=1}^n (1 - c_i); [\bigcap_{i=1}^n (1, 1, \mu_{i1}), \bigcap_{i=1}^n (1, 1, \mu_{i2}); [\bigcap_{i=1}^n (1, 1, v_{i1}), \bigcap_{i=1}^n (1, 1, v_{i2})]]] \rangle
 \end{aligned}$$

여기에서 \cap 는 Min 연산자이다.

4. 예시([3, 7, 8]의 예를 기반으로)

서로 인접해 있는 두 대의 연마기계가 동작하고 있다고 가정하자. 이 기계들의 근처에 다가오는 사람에게 연마기계에서 나온 부스러기가 눈으로 들어가 다칠 수 있는 가능성은 얼마인가? 가장 위험한 사람은 기계를 조작하는 조종원이고 조종원들은 보안경을 착용할 의무가 있지만 종종 보안경을 착용하지 않는다. 그리고 기계근처에 재료로 사용할 물건들을 가져오는 사람들과 연마기계에서 만들어진 생산품 가져가는 사람들 그리고 다른 이유들로 인해 연마기계 근처에 오는 사람들도 위험하다. 누군가가 다칠 수 있는 주요 사건에 대한 결합나무는 그림 6과 같이 만들 수가 있다.

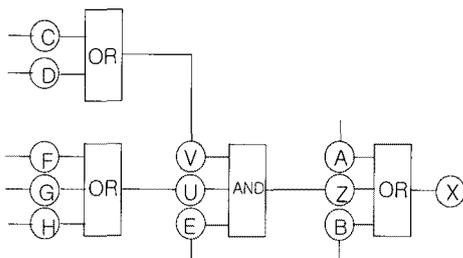


그림 6. 결합나무
Fig. 6. Fault Tree

위와 같은 환경에서 사고가 날 수 있는 기본적인 사건들의 신뢰도는 표 1에 정리되어 있다(자료출처[3, 7, 8]). 기본

사건들은 서로 상호 독립적이고 기본사건의 신뢰도는 구간값 삼각 모호집합 $R_i, R_i = \langle [(a_i, b_i, c_i); [\mu_{i1}, \mu_{i2}]; [v_{i1}, v_{i2}]] \rangle, 0 \leq \mu_{i1} \leq \mu_{i2} \leq v_{i1} \leq v_{i2} \leq 1, 1 \leq i \leq n$ 로 표기할 수 있다.

표 1. 기본사건들의 신뢰도
Table 1. Reliabilities of Basic Events

| 기호 | 기본사건 | a_i | b_i | c_i | μ_{i1} | μ_{i2} | v_{i1} | v_{i2} |
|----|----------------|---------|-------|---------|------------|------------|----------|----------|
| A | 조작원1이 보안경을 미착용 | 0.00888 | 0.02 | 0.03112 | 0.90 | 0.85 | 1.0 | 0.95 |
| B | 조작원2가 보안경을 미착용 | 0.00888 | 0.02 | 0.03112 | 0.90 | 0.85 | 1.0 | 0.95 |
| C | 기계1이 동작 중 | 0.75552 | 0.8 | 0.84448 | 0.90 | 0.85 | 1.0 | 0.95 |
| D | 기계2가 동작 중 | 0.75552 | 0.8 | 0.84448 | 0.90 | 0.85 | 1.0 | 0.95 |
| E | 보안경 없이 들어온 사람 | 0.94434 | 1.0 | 1.05566 | 0.90 | 0.85 | 1.0 | 0.95 |
| F | 재료를 가져오는 사람 | 0.04722 | 0.05 | 0.05278 | 0.90 | 0.80 | 1.0 | 0.90 |
| G | 생산품을 가져가는 사람 | 0.04722 | 0.05 | 0.05278 | 0.90 | 0.80 | 1.0 | 0.90 |
| H | 다른 이유로 들어오는 사람 | 0.00944 | 0.01 | 0.01056 | 0.90 | 0.80 | 1.0 | 0.90 |

표 1에서 얻어지는 퍼지시스템의 구성요소에 대한 신뢰도 R_i 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 R_A &= \langle [(0.00888, 0.02, 0.03112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle, \\
 R_B &= \langle [(0.00888, 0.02, 0.03112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle, \\
 R_C &= \langle [(0.75552, 0.8, 0.84448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle, \\
 R_D &= \langle [(0.75552, 0.8, 0.84448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle, \\
 R_E &= \langle [(0.94434, 1.0, 1.05566); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle, \\
 R_F &= \langle [(0.04722, 0.05, 0.05278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle, \\
 R_G &= \langle [(0.04722, 0.05, 0.05278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle, \\
 R_H &= \langle [(0.00944, 0.01, 0.01056); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle.
 \end{aligned}$$

사건 X에 대한 진리값 함수는 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 U &= F + G + H, \\
 V &= C + D, \\
 Z &= E \times U \times V, \\
 X &= A + B + Z.
 \end{aligned}$$

위 함수에서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R_U &= 1 \ominus (1 \ominus R_F) \otimes (1 \ominus R_G) \otimes (1 \ominus R_H) \\
 &= 1 \ominus (1 \ominus \langle [(0.04722, 0.05, 0.05278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle) \\
 &\quad \otimes (1 \ominus \langle [(0.04722, 0.05, 0.05278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle) \\
 &\quad \otimes (1 \ominus \langle [(0.00944, 0.01, 0.01056); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle) \\
 &= 1 \ominus \langle [(0.94722, 0.95, 0.95278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle \\
 &\quad \otimes \langle [(0.94722, 0.95, 0.95278); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle \\
 &\quad \otimes \langle [(0.98944, 0.99, 0.99056); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle \\
 &= 1 \ominus \langle [(0.88775, 0.89348, 0.89922); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle \\
 &= \langle [(0.10078, 0.10652, 0.11225); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]] \rangle
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_V &= 1 \ominus (1 \ominus R_C) \otimes (1 \ominus R_D) \\
 &= 1 \ominus (1 \ominus \langle [(0.75552, 0.8, 0.84448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle) \\
 &\quad \otimes (1 \ominus \langle [(0.75552, 0.8, 0.84448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]] \rangle)
 \end{aligned}$$

참 고 문 헌

[1] Kaufmann, A., and Gupta, M. M., "Fuzzy Mathematical Models in Engineering and Management Science," North-Holland, Amsterdam, 1988.

[2] Zadeh, L. A., "Fuzzy Sets," *Information and Control* 8, pp.338-353, 1965.

[3] Singer, D., "A Fuzzy Set Approach To Fault Tree and Reliability Analysis," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 34, pp.145-155, 1990.

[4] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Fuzzy Variables As a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in Possibility Context," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 42, pp.145-172, 1991.

[5] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Posbist Reliability Behavior of Typical Systems With Two Types of Failure," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 43, pp.17-32, 1991.

[6] Cai, K. Y., Wen, C. Y., and Zhang, M. L., "Fuzzy States As a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability," *Microelectronic Reliability*, Vol. 33, No. 1, pp.2253-2263, 1993.

[7] Cheng, C. H., and Mon, D. L., "Fuzzy System Reliability Analysis by Interval of Confidence," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 56, pp.29-35, 1993.

[8] Chen, Shyi-Ming, "Fuzzy System Reliability Analysis Using Fuzzy Number Arithmetic Operations," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp.31-38, 1994.

[9] Mon, D. L., and Cheng, C. H., "Fuzzy System Reliability Analysis for Components With Different Membership Functions," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 64, pp.147-157, 1994.

[10] Utkin, L. V., and Gurov, S. V., "A General Formal Approach for Fuzzy Reliability Analysis in the Possibility Context," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 83, pp.203-213, 1996.

[11] Cai, K. Y., "Systems Failure Engineering and Fuzzy Methodology: An Introductory Overview," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 83, pp.113-133, 1996.

[12] Chen, Shyi-Ming, "Analysis Fuzzy System Reliability Using Vague Set Theory," *Int'l Jl. of Applied Science and Engineering*, Vol. 1, pp.82-88, 2003.

[13] Wu, H. C., "Fuzzy Reliability Estimation Using Bayesian Approach," *Computers and Industrial Engineering*, 46, pp.467-493, 2004.

[14] Kumar, A., Yadav, S. P., and Kumar, S., "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.

[15] 조상엽, 박사준, "모호집합을 이용한 가중구성요소를 갖는 퍼지시스템의 신뢰도분석," *정보과학회논문*

$$=1\ominus\langle[(0.15552, 0.2, 0.24448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$\otimes\langle[(0.15552, 0.2, 0.24448); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$=1\ominus\langle[(0.02419, 0.04, 0.05977); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$=\langle[(0.94023, 0.96, 0.97581); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$Rz=Re\otimes Ru\otimes Rv$$

$$=\langle[(0.94434, 1.0, 1.05566); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$\otimes\langle[(0.10078, 0.10652, 0.11225); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle$$

$$\otimes\langle[(0.94023, 0.96, 0.97581); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$=\langle[(0.08948, 0.10226, 0.11563); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle$$

$$Rx=1\ominus(1\ominus Ra)\otimes(1\ominus Rb)\otimes(1\ominus Rz)$$

$$=1\ominus(1\ominus\langle[(0.00888, 0.02, 0.03112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle)$$

$$\otimes(1\ominus\langle[(0.00888, 0.02, 0.03112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle)$$

$$\otimes(1\ominus\langle[(0.06295, 0.08341, 0.10767); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle)$$

$$=1\ominus\langle[(0.96888, 0.98, 0.99112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$\otimes\langle[(0.96888, 0.98, 0.99112); [0.90, 0.85]; [1.0, 0.95]]\rangle$$

$$\otimes\langle[(0.89233, 0.91659, 0.93705); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle$$

$$=1\ominus\langle[(0.83766, 0.88029, 0.92048); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle$$

$$=\langle[(0.07952, 0.11971, 0.16234); [0.90, 0.80]; [1.0, 0.90]]\rangle$$

사건 X에 대한 진리값 함수의 계산결과는 [3, 7, 8, 15] 등의 연구의 결과와 매우 유사한 결과를 보여준다. 그러나 여기에서는 단순히 모호집합을 이용한 방법[12, 15, 18]과 달리 상한과 하한을 구간으로 표현한 구간값 삼각 모호집합을 사용하여 구성요소의 신뢰도를 기술하기 때문에 퍼지시스템의 신뢰도를 분석할 때 더 유연한 분석이 가능하다. 또한, 많은 산술연산을 필요로 하는 구간값 사다리꼴 모호집합[14]의 방법보다는 빠른 산술연산을 하기 때문에 효과적으로 퍼지시스템을 분석할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 모호집합의 상한과 하한을 구간값 퍼지집합에서 사용하는 구간으로 표현하는 구간값 삼각 모호집합 개념을 제안하고, 구간값 삼각 모호집합을 이용하여 퍼지시스템의 신뢰도를 평가하는 방법을 제안하였다. 구간값 삼각 모호집합은 기존의 모호집합의 상한과 하한을 각각 구간을 표현하여 구성요소의 신뢰도를 표현하기 때문에 기존의 방법보다 유연한 신뢰도의 표현과 분석이 가능하다. 그리고 산술연산에 시간이 많이 걸리는 문제점을 가지고 있는 기존의 구간값 사다리꼴 모호집합을 사용하는 방법에 비해 구간값 삼각 모호집합의 연산시간이 빠르기 때문에 효과적인 퍼지시스템의 신뢰도 분석이 가능하다.

문지: 소프트웨어 및 응용, 제33권, 제11호, pp.979-985, 2006.

- [16] Gau, Wen-Lung, and Buehrer, Daniel J., "Vague Sets," *IEEE Trans. on SMC*, Vol. 23, No. 2, pp.610-614, 1993.
- [17] Turksen, I. B., "Interval-valued Fuzzy Sets Based on Normal Forms," *Fuzzy Sets and Systems* 20, pp.191-210, 1986.
- [18] 이세열, 조상엽, 김용수, "구간값 모호집합에 기반을 둔 퍼지시스템의 신뢰도 분석," 한국지능시스템학회 춘계학술발표대회 논문집, 2008.

저 자 소 개



이세열(Se-Yul Lee)
 1999년: 대전대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2003년: 대전대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
 2004년~현재: 청운대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야 : 정보보호, 네트워크보안, 퍼지논리
 E-mail : pirate@chungwoon.ac.kr



조상엽(Sang-Yeop Cho)
 1988년: 중앙대학교 전자계산학과(이학석사)
 1993년: 중앙대학교 전자계산학과(이학박사)
 1995년~현재: 청운대학교 인터넷학과 교수

관심분야 : 인공지능, 퍼지이론, 페트리네트 응용
 E-mail : sycho@chungwoon.ac.kr



김용수(Yong-Soo Kim)
 1981년: 연세대학교 전기공학과(공학사)
 1983년: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1986년: 삼성전자 종합연구소 주임연구원
 1993년: Texas Tech Univ. 전기공학과 (공학박사)
 1995년~현재: 대전대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 신경회로망, 퍼지 논리, 패턴인식, 영상처리, 침입탐지 등
 E-mail : kystj@dju.kr