

D-S증거리론에 기초한 한가지 고장진단방법

장심철, 최평복

정보융합기술은 여러가지 정보원천들로부터 얻어지는 정보들을 종합하여 단일정보에 비하여 더 정확하게 예측과 판단을 진행할수 있게 하며 이로부터 체계의 오차허용능력을 높이고 정확한 결심채택을 진행할수 있게 하는 정보처리기술이다.

정보융합기술의 하나인 D-S증거리론은 일종의 불확정성추리방법으로서 고장진단령역에서 광범히 응용되고있다.

그러나 D-S증거리론[1-4]에서는 증거충돌이 엄중할 때 증거합성규칙을 적용할수 없거나 합성결과도 객관적인 현실을 반영할수 없다.

이로부터 논문에서는 증거충돌을 약화시키기 위한 한가지 합성방법규칙과 그것을 리용한 탱크체계의 고장진단방법에 대하여 연구하였다.

1. 개선된 D-S증거합성방법

증거리론에서 어떤 판단문제의 가능한 판단결과의 모임을 식별구조라고 부르고 Θ 로 표시한다. Θ 의 원소들은 호상배제하며 식별대상에 대하여 완비이다.

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$$

Θ 의 원소 θ_i 는 하나의 판단문제중의 모든 가능한 결과이다. 또는 판단이나 결심채택의 결론이다. 그러면 관심하는 임의의 명제는 모두 Θ 의 하나의 부분모임에 대응된다.

증거리론연구의 기본문제는 식별구조 Θ 를 알고 미지대상이 Θ 의 어떤 부분모임에 속하는 정도를 판단하는것이다.

Θ 를 식별구조라고 할 때 모임 $m:2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ (2^Θ 은 Θ 의 제곱모임)이 다음식을 만족시키면 m 을 Θ 의 기본확률분배함수 간단히 bpa함수라고 부른다.

$$\begin{cases} m(\phi) = 0 \\ \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 임의의 $\forall A \subseteq \Theta$ 에 대하여 $m(A)$ 를 A 의 기본확률수라고 부른다. 이것은 결론 A 의 믿음정도를 표시한다. 그러므로 $m(\bullet)$ 를 기본믿음도분배함수라고도 부른다.

만일 $A \subset \Theta$, $A \neq \phi$ 이면 $m(A)$ 는 A 에 분배되는 믿음정도를 표시하며 $m(\Theta)$ 는 불확정성에 분배되는 믿음정도를 표시한다.

$$m(\Theta) = 1 - \sum_{A \subset \Theta} m(A) \quad (2)$$

웃식은 증거리론이 불확정적인 믿음도를 전체 식별구조에 분배한다는것을 나타낸다.

기본확률분배함수와 관련된 믿음도함수 Bel (Function of Belief)을 $Bel:2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ 로 정의한다.

이때 임의의 $\forall A \subseteq \Theta$ 에 대하여 다음식이 성립한다.

$$Bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B) \quad (3)$$

Bel 은 모임 A 에 대한 믿음정도를 표시한다. 즉 A 의 제곱모임 2^A 의 원소에 대한 기본믿음도분배합과 같다.

정의로부터 다음의것을 알수 있다. 즉

$$Bel(\phi) = 0, \quad Bel(\Theta) = 1$$

이다.

증거리론의 기본방략은 2개 혹은 여러개의 상관없는 증거를 리용하여 식별구조를 각각 독립적으로 판단하고 증거합성규칙을 리용하여 여러개 증거의 판단결과를 조합하는것이다.

Bel_1 과 Bel_2 를 동일한 식별구조에서 서로 다른 증거에 기초한 믿음함수라고 할 때 m_1 과 m_2 를 각각 그것에 대응하는 기본믿음분배수, $A_1, A_2, \dots, A_k, B_1, B_2, \dots, B_n$ 을 각각 그것에 대응하는 기본원소라고 하자.

만일 $A \subseteq \Theta, m(A) > 0$ 이고

$$K = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i) m_2(B_j) < 1 \quad (4)$$

이라면 합성후의 기본믿음분배수 m 은 다음과 같이 표시된다.

$$m(A) = \begin{cases} 0 & , A = \phi \\ \frac{\sum_{A_i \cap B_j \neq A} m_1(A_i) m_2(B_j)}{1 - K} & , A \neq \phi \end{cases} \quad (5)$$

여기서 K 는 증거사이의 충돌정도를 반영하며 그 값이 클수록 증거사이의 충돌은 더욱 커진다. K 가 1에 가까울 때 증거는 완전히 충돌하며 조합규칙은 적용할수 없다.

이로부터 논문에서는 증거충돌을 약화시키기 위한 합성규칙을 다음과 같이 결정하였다.

$$m(A) = \begin{cases} 0 & , A = \phi \\ p(A) + K \times q(A) & , A \neq \phi \end{cases} \quad (6)$$

여기서

$$p(A) = \sum_{A_i \cap B_j \neq A} m_1(A_i) m_2(B_j) \quad (7)$$

$$q(A) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i(A) \quad (8)$$

이고 n 은 증거의 개수이다.

증거합성후 그 결과를 어떻게 판단하는가 하는것은 구체적인 응용문제와 관계되며 논문에서는 합성후의 기본확률분배수에 기초하여 다음과 같이 판단을 진행하였다.

교장식별구조에 속하는 원소 A_1 과 A_2 에 대하여

$$m(A_1) = \max\{m(A_i), A_i \subset \Theta\}, \quad m(A_2) = \max\{m(A_i), A_i \neq A_1\}$$

을 만족시키고 적당한 턱값 e 에 대하여 $m(A_1) - m(A_2) > e$ 가 성립하면 A_1 을 판단결과로 한다.

2. 색조절탕크체계에서 고장진단실험 및 결과분석

색조절탕크실험체계는 류량공정에 대한 종합적인 실험실습을 보장할수 있는 종합실험장치로서 탱크계통, 공급계통, 주입계통, 교반계통, 회수계통, 가열계통, 조종반으로 구성되어있다.(그림)

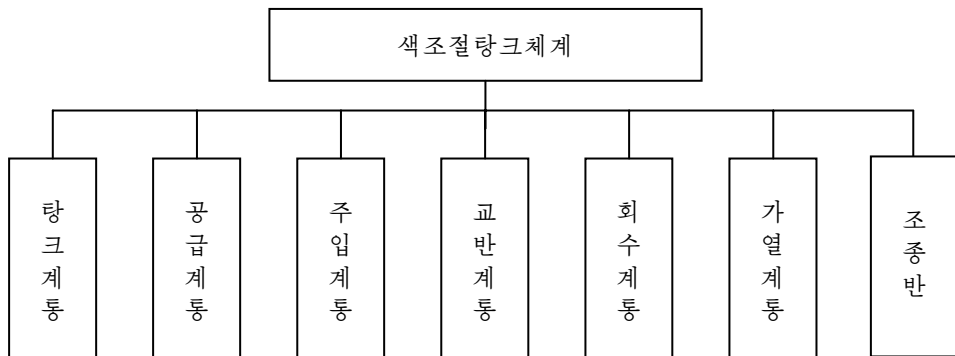


그림. 색조절탕크체계의 구성도

색조절탕크실험체계의 기능은 기본생산용탕크의 액체원료를 온도 및 색도설정값에 따라 조절하고 지령에 따라 지정된 색도로 지정된 량만큼 용기에 주입하여 이송장치에 보내며 한편 이송장치로부터 넘겨받은 액체제품을 회수하여 기본생산용탕크에 보내는것이다.

실험체계에서는 여러개의 수감부들을 리용하여 온도, 준위, 색도와 같은 공정량들을 측정하고 그것에 따르는 조종을 실현하였다. 리용되는 수감부들을 보면 탱크체계의 4개의 기본탕크에 각각 온도수감부 1개, 준위수감부 1개, 색도수감부 1개씩 설치되어있고 공급계통의 2개의 공급탕크와 회수계통의 4개의 회수통에 각각 준위수감부 1개씩 모두 4개의 온도수감부, 10개의 준위수감부, 4개의 색도수감부가 설치되어있다.

기본탕크에 설치된 4개의 온도수감부들중 어느 한 수감부자료가 설정된 온도이하로 낮아지면 가열계통이 동작해야 하므로 온도파라미터특징량으로서는 4개의 온도수감자료의 최소값을 취한다.

$$T_t = \min(T_t^i)$$

마찬가지로 기본탕크에 설치된 4개의 준위수감부들중 어느 한 수감부자료가 설정된 준위이하로 낮아지면 공급계통이 동작해야 하므로 준위파라미터특징량으로서는 4개의 준위수감자료의 최소값을 취한다.

$$H_t = \min(H_t^i)$$

론문에서는 실험체계에서 발생할수 있는 고장류형을 4가지 즉 공급뿔프계통고장과 공급전자변계통고장, 주입전자변계통고장, 가열계통고장으로 보고 실험연구를 진행하였다.

먼저 고장진단체계의 식별구조를

$$\Theta = \{F_1, F_2, F_3, F_4\}$$

로 정의한다. 여기서 F_1 은 공급뿔프계통고장, F_2 는 공급전자변계통고장, F_3 은 주입전자변계통고장, F_4 는 가열계통고장이다.

식별구조의 고장발생원인을 분석하고 정보융합고장진단의 원칙에 기초하여 기본탱크의 온도파라미터특징량을 증거 1로, 준위파라미터특징량을 증거 2로, 회수통의 준위파라미터특징량을 증거 3으로 한다.

기본탱크의 온도파라미터특징량과 준위파라미터특징량, 회수통의 준위파라미터특징량들에 대한 매 고장류형의 확률분배값을 표 1에 보여주었다.

표 1. 고장류형의 확률분배값

증거	$m_i(F_1)$	$m_i(F_2)$	$m_i(F_3)$	$m_i(F_4)$
1	0.4	0.3	0.1	0.2
2	0.5	0.35	0.15	0
3	0.55	0.25	0.1	0.1

식 (8)로부터 $q(F) = \{0.483, 0.3, 0.117, 0.1\}$ 이다.

식 (6), (7)로부터 증거 1, 2, 3을 합성하였을 때의 확률분배값을 표 2에 보여주었다.

표 2. 증거물의 확률분배값

증거	K	$m_i(F_1)$	$m_i(F_2)$	$m_i(F_3)$	$m_i(F_4)$
1, 2	0.68	0.529	0.309	0.094	0.068
1, 2, 3	0.616	0.588	0.262	0.081	0.069

표 2로부터

$$\max\{m(F_i), A_i \subset \Theta\} = m(F_1), \max\{m(F_i), F_i \neq F_1\} = m(F_2)$$

이고 $e=0.2$ 로 설정하면 증거 1과 2를 합성하였을 때에는

$$m(F_1) - m(F_2) = 0.529 - 0.309 = 0.22 > e$$

이다.

증거 1, 2, 3을 합성하였을 때에는

$$m(F_1) - m(F_2) = 0.588 - 0.262 = 0.326 > e$$

로서 차이가 더욱 뚜렷해진다. 즉 고장류형은 F_1 이라는것을 알수 있다.

그러나 표 1로부터 알수 있는것처럼 단일증거인 경우에는 증거 1과 2의 경우에 기본 확률분배값 $m(F_1)$ 과 $m(F_2)$ 의 차이가 e 보다 작으므로 고장류형을 정확히 판단할수 없다.

또한 D-S증거합성규칙(식 (5))을 리용하여 증거들을 합성하는 경우 $m_2(F_4)=0$ 이므로 합성후에도 $m(F_4)=0$ 으로 된다.

이상에서 보는바와 같이 개선된 D-S증거합성규칙을 리용한 여러수감부정보융합은 고장류형식별의 불확정성을 감소시키며 동시에 융합후의 믿음도는 융합전 때 증거들의 단독작용시의 믿음도에 비하여 더 높아진다. 이로부터 고장상태에 대한 진단체계의 식별능력을 더욱 높일수 있다.

맺 는 말

결심채택급정보융합에서 대표적인 D-S증거리론의 제한성을 분석하고 증거충돌을 약화시키기 위한 한가지 증거합성방법을 제안하고 색조절탱크체계의 고장진단과정을 통하여 그 효과성을 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Q. Sun et al.; Acta Electronica Sinica, 28, 8, 117, 2000.
- [2] 吕昱昭, 叶中付; 计算机工程与应用, 13, 75, 2005.
- [3] 安学利 等; 电力系统自动化, 32, 20, 79, 2008.
- [4] 王德亮; 石油矿场机械, 46, 4, 74, 2017.

주체108(2019)년 11월 5일 원고접수

A Method of Making a Diagnosis of Fault Based on D-S Evidence Theory

Jang Sim Chol, Choe Phyog Bok

In this paper we suggested D-S evidence synthesis method for reducing evidences conflict and verified the effectiveness of this method through a diagnostic experiment in tank system.

Keywords: evidence theory, information fusion, tank system