

## CONTROLLO IN LOGICA FUZZY

**Gli insiemi fuzzy.** La logica fuzzy o logica “sfumata” si propone di giungere alla regolazione di un sistema attraverso la formalizzazione di concetti, derivati dall’esperienza comune che talvolta vengono espressi in modo piuttosto vago. L’idea di base è che una grandezza possa assumere non solo valori booleani (vero/falso) ma un insieme di valori indicanti il livello di “verità” di una certa espressione. A tal fine si introducono insiemi “fuzzy” sui quali si costruiscono funzioni di “appartenenza” di forma generalmente triangolare o trapezoidale. A titolo di esempio si consideri in figura A il sistema di riscaldamento dell’acqua per mezzo di una fiamma di intensità modulabile. Per precisare il significato dell’espressione “l’acqua è tiepida” è stata definita la funzione  $u(T)$  di figura B ( $T$  = temperatura acqua) che assume valori normalizzati compresi fra 0 e 1. Per esempio per  $T = 20^\circ\text{C}$  si ha  $u(T) = 0$  (l’acqua “non” è tiepida), per  $T = 40^\circ\text{C}$   $u(T) = 0,5$  (l’acqua è “abbastanza” tiepida), mentre per  $T = 50^\circ\text{C}$   $u(T) = 1$  (l’acqua è tiepida). Si definiscono poi i vari operatori sugli insiemi fuzzy quali l’unione (OR) e l’intersezione (AND) per costruire espressioni più complesse. Le regole sono del tipo (fig. C): un elemento appartenente all’unione (o intersezione) di due insiemi fuzzy  $F_1$  e  $F_2$  ha grado di appartenenza pari al massimo (o minimo) fra quelli relativi agli insiemi di partenza.

**Esempio: regolazione di temperatura in logica fuzzy.** La determinazione dell’azione di controllo avviene in tre fasi.

a) “Fuzzificazione” degli ingressi, cioè confronto del valore di ingresso (temperatura) con le funzioni di appartenenza costruite sugli insiemi fuzzy. In figura D sono indicate tre funzioni che individuano il grado di appartenenza dei valori di ingresso agli insiemi fuzzy che precisano il concetto di acqua fredda, tiepida, calda.

b) Definizione del sistema di “inferenza”, cioè delle regole per determinare le uscite del regolatore (livello della fiamma). Nel caso in oggetto possono essere del tipo: *se* (acqua calda) *allora* (livello basso); *se* (acqua tiepida) *allora* (livello medio); *se* (acqua fredda) *allora* (livello alto).

c) “Defuzzificazione” delle uscite; corrisponde all’operazione inversa al punto 1 e permette di fissare il valore effettivo dell’azione di controllo (da 0 al 100%). Una fra le tecniche più usate è quella del baricentro con funzioni di uscita a un solo valore (si potrebbero adottare forme diverse come per le funzioni descritte in precedenza). Determinati i gradi di appartenenza dell’ingresso (temperatura) ai vari insiemi fuzzy si ottiene il valore per l’uscita (livello fiamma) operando la media delle uscite fuzzy pesate con i gradi di appartenenza stessi in accordo con le regole di inferenza. Nel caso in oggetto, per esempio per  $T = 60^\circ\text{C}$ , (fig. E) si ha: livello fiamma =  $(0 \times 100\% + 0,5 \times 50\% + 0,33 \times 10\%)/(0 + 0,5 + 0,33) = 34\%$ .

**Vantaggi del controllo in logica fuzzy.** Si possono riassumere i seguenti vantaggi. • L’azione di controllo viene definita senza far riferimento a relazioni matematiche fra ingresso e uscita del regolatore; non risulta inoltre necessario un modello del sistema da controllare. • Le informazioni qualitative derivate dall’esperienza contribuiscono direttamente alla realizzazione del regolatore; modifiche o integrazioni successive non comportano stravolgimenti della struttura. • Il controllo fuzzy si adatta facilmente al sistema e possiede buone caratteristiche di robustezza (stabilità, comportamento per grandi transitori soprattutto in sistemi non lineari). • Funzioni di appartenenza e regole di inferenza opportune possono concentrare le azioni di controllo in particolari zone operative.

