

LOGICA DEI SISTEMI APPROSSIMATI

Lucio Pellizzari

Fra le tecniche di calcolo che cercano di imitare i meccanismi del nostro cervello, la logica "fuzzy" offre concreti vantaggi in numerose applicazioni di microcontrollo

Fuzzy logic (lett. logica approssimativa) è l'attuale denominazione di un concetto matematico che può essere fatto risalire all'antica filosofia giapponese alla base dell'interpretazione degli ideogrammi, che esprime in sé un modo di affrontare la risoluzione di qualsivoglia problema un po' più "creativo" rispetto ai metodi tradizionali. In pratica, la ricerca della soluzione non è più basata solamente sul noto paradigma logico "vero o falso" (inventato da Aristotele come fondamento della razionalità occidentale), bensì sull'indecisione elementare "if then else" che offre ogni volta due soluzioni alternative, da scegliere verificando la condizione espressa in un'ipotesi iniziale. Insomma, al cervello viene lasciata mag-

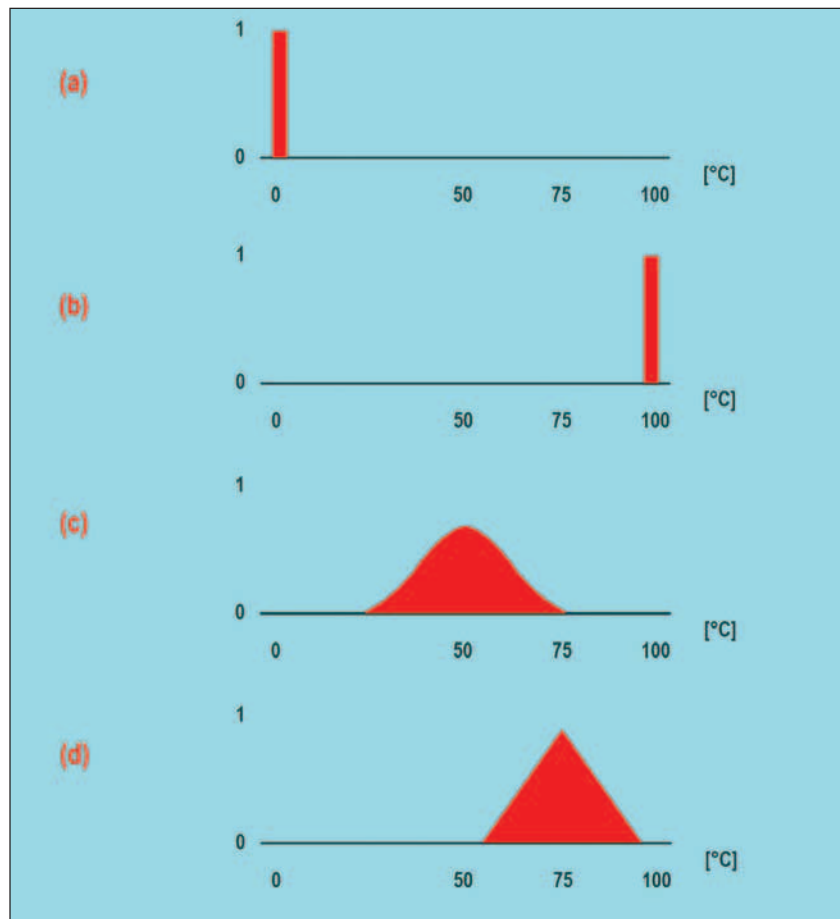


Fig. 1 – Diverse funzioni di appartenenza che descrivono altrettante temperature nell'intervallo fra le due categorie estreme di 0°C e 100°C

gior libertà di interpretare i dati o, se vogliamo, più "ingegno", giacché ora le relazioni causa/effetto fra i dati divengono più importanti dei dati stessi. Il concetto assomiglia alla scrittura giapponese perché anche gli ideogrammi lascia-

no sempre una minima libertà di interpretazione a chi li legge e forse è per questo motivo che i primi a pensare a tradurre tutto ciò nel calcolo elettronico siano stati i ricercatori giapponesi. Come valore aggiunto, grazie alle più

efficaci doti "intuitive", ne esce la possibilità di rendere le unità di calcolo maggiormente capaci di imparare dai problemi risolti, il che significa renderle in grado di migliorare autonomamente e continuamente la propria intelligenza. Nell'attuale versione elettronica le fuzzy logic sono state proposte a metà degli anni '60 dal professor Lotfi Zadeh dell'Università della California di Berkeley. Il primo chip funzionante è stato commercializzato dai Bell Labs nel 1985 e ha riscontrato un discreto successo nei prodotti consumer quali videocamere, registratori e fornelli, al punto da far conoscere rapidamente la fuzzy logic come una tecnica di controllo molto adatta per gli elettrodomestici. Oggi, le fuzzy logic rappresentano uno dei segmenti del mercato elettronico più in rapida crescita e una tecnologia di notevole efficacia matematica, tale da concorrere in prestazioni con le sofisticate reti neurali anche nei complessi sistemi di intelligenza artificiale.

A rigor di logica

La dottrina fuzzy logic esprime con un'opportuna funzione il grado di appartenenza (membership) di un "oggetto" a una "categoria". Tale funzione può descrivere infiniti valori tra le due estremità 0 e 1: se vale 0 l'oggetto è totalmente estraneo alla categoria, mentre se vale 1 ne è totalmente identificato. Per permettere l'esistenza degli stati intermedi si definiscono degli operatori logici chiamati modificatori (modifier o hedge) che rappresentano gli attributi con i quali si può determinare se la natura dell'oggetto è un po' più, o un po' meno, vicina a una delle due estremità della definizione (e dunque anche un po' meno, o un po' più, lontana dall'altra). In pratica, la funzione di appartenenza può avere qualsiasi forma (per esempio a scalino, gaussiana o triangolare), purché il suo valore medio espri-

Il principio delle logiche approssimate è importante perché può

essere applicato in diversi ambiti scientifici e così hanno fatto gli esperti di svariate scuole di pensiero fra cui biologia, medicina, genetica, meccanica, economia, finanza, elettronica molecolare, robotica, cibernetica e, persino, psicologia e politica. Dal punto di vista teorico, infatti, non c'è nulla nel mondo che possa essere definito completamente vero o falso, caldo o freddo, bianco o nero, perché tutto nell'universo è in eterno mutamento e anche la definizione più precisa può diventare imprecisa mentre le cose cambiano. La scienza stessa descrive il mondo con teoremi che non sono mai totalmente falsi o totalmente veri, ma veri solo entro ben precisi limiti che possono interamente crollare al verificarsi di un evento imprevisto. Quando la scienza logica riduce tutto a una mera distinzione fra bianco e nero, insomma, attua una netta semplificazione che esclude ogni altra possibilità intermedia, ovvero quelle tonalità grigie che possono essere colte più con l'intuito che con il ragionamento. Einstein a tale proposito predicava che "quando le leggi della matematica si riferiscono alla realtà non sono certe e quando sono certe non si riferiscono alla realtà".

Un po' di filosofia

ma con chiarezza la posizione dell'oggetto. Nella figura 1 si vedono quattro esempi di funzioni che indicano, rispettivamente, le temperature di 0°C, 100°C, 75°C e 50°C.

Giacché la logica fuzzy è un'estensione della logica booleana, anch'essa definisce delle operazioni logiche che ricalcano quelle esistenti fra gli insiemi ovvero l'unione (or), l'intersezione (and) e il complemento (not). L'unione $\max(A,B)$ fra due categorie fuzzy A e B considera il massimo valore di appartenenza fra le due e, quindi, se un oggetto appartiene per 0,3 ad A e per 0,6 a B, l'unione esprimerà il valore 0,6. L'intersezione $\min(A,B)$ è l'operazione opposta che considera il valore di appartenenza minimo, che nell'esempio è 0,3. Il complemento di un oggetto a una categoria si ottiene sottraendone da 1 il valore di appartenenza, $\bar{A}=1-A$: nell'esempio il complemento di A è 0,7, mentre il complemento di B è 0,4. I modificato-

ri sono, in pratica, le definizioni dei parametri limite da utilizzare nel controllo. Per esempio, "close to 0" o "vicino a 0" può essere una definizione del valore 0,1, mentre "enough 1" o "abbastanza 1" può descrivere il superamento del valore 0,7. Allo stesso modo si possono stabilire altri parametri come "very" (molto), "little" (poco), "slightly" (leggermente), "extremely" (estremamente), "somewhat" (piuttosto) e così via. Se necessario, si possono attribuire alle definizioni anche delle operazioni algebriche; per esempio, "extremely A" potrebbe significare A^2 . Naturalmente, ogni progettista può definire dei modificatori specifici per le proprie esigenze applicative.

Su queste azioni elementari si basa l'operazione decisionale più importante nelle logiche fuzzy "if then else", che può essere descritta con alcuni esempi di inferenza quali possono essere i seguenti: "se la temperatura (T) della

TABELLA 1 – UN SEMPIO DI SEMPLICI ISTRUZIONI FUZZY IMPLEMENTATE A BORDO DI UN MICROCONTROLLORE

Istruzione	Descrizione
MBF $n_mbf\ lvd\ v\ rvd$	Attribuisce la funzione di appartenenza n_mbf con la forma identificata dai parametri lvd , v e rvd
IS $n\ m$	Attribuisce al valore d'ingresso n la funzione di appartenenza m
IS NOT $n\ m$	Calcola il valore complementare della funzione m di n
FZAND	Esegue l'operazione fuzzy AND
FOR	Esegue l'operazione fuzzy OR
CON $crisp$	Moltiplica il valore $crisp$ con l'ultimo peso ω
OUT n_out	Esegue la defuzzificazione e memorizza il valore fuzzy d'uscita nel registro n_out
FUZZY	Inizia il calcolo di una variabile fuzzy
()	Modifica la priorità di una regola di valutazione

stanza è abbastanza fredda allora accendi un po' di più il riscaldamento (R), altrimenti accendilo un po' di meno", oppure "se il peso (P) della biancheria è elevato, allora aumenta la quantità d'acqua (A) durante il lavaggio, se no diminuiscila". Questi esempi si traducono in termini informatici con istruzioni cicliche del tipo: "if $T < (\text{poco}T)$ then $R=R+(10\ \text{minuti})$ else if $T > (\text{troppo}T)$ then $R=R-10$ " oppure "if $P > (\text{molto}P)$ then $A=A+(1\ \text{litro})$ else ...". La flessibilità delle regole decisionali permette di inventare svariati motori inferenziali, adattandoli alle necessità applicative con la definizione di soglie di decisione graduate su diversi livelli d'intervento del tipo "se $X > (\text{abbastanza}X)$ then ... else if not $X < (\text{molto}X)$ then ... else ...", oppure "if $\min(X,Y) < (\text{poco}Z)$ and/or $\min(X,Y) > (\text{pochissimo}Z)$ then ... else ...", e così via.

Un controllore fuzzy svolge le tre mansioni dette fuzzificazione, controllo e defuzzificazione, illustrate nello schema di figura 2.

La fuzzificazione si occupa dell'interpretazione dei dati, per ciascuno dei quali viene determinata la funzione di corrispondenza a una delle categorie estreme oppure a una posizione intermedia fra esse.

Chiaramente si tratta della fase più critica, ma al tempo stesso più importante giacché è proprio grazie a questa delicata pre-elaborazione che le logiche fuzzy consentono di realizzare motori logici di calcolo capaci di superare le imprecisioni fra i dati d'ingresso. Il controllo è l'insieme delle regole inferenziali "if then else" che sono accompagnate dal grado di applicabilità (base di conoscenze) su ogni dato e, pertanto, tengono conto dell'approssimazione dei

dati applicando di volta in volta gli operatori logici più opportuni. La defuzzificazione è la riconversione dei valori d'uscita effettuata usando la regola del centroide che considera il peso di tutte le regole su ciascun dato in termini combinatori. Per esempio, se X_{ij} è la funzione di appartenenza di un dato a una categoria e ω_{ij} è il grado di applicabilità (peso) di una singola regola a quel dato, si definirà una combinazione del tipo $Y_i = \sum_j X_{ij} \omega_{ij} / \sum_j \omega_{ij}$. Le combinazioni calcolate sono, quindi, applicate agli attuatori che le mettono in pratica nel sistema oggetto del controllo. Infine, su quest'ultimo sono previsti dei sensori che ne rilevano lo stato e il comportamento per estrarne le opportune correzioni di regolazione che arricchiscono la base di conoscenze e possono essere utilizzate per migliorare l'efficacia delle regole decisionali.

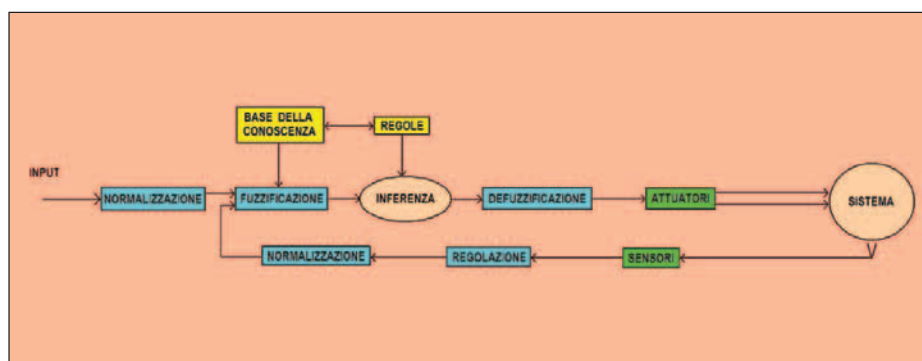


Fig. 2 – Schema di funzionamento di un controllo implementato seguendo l'impostazione dettata dalla logica "fuzzy"

Quando l'intuito è più conveniente della ragione

In altre parole, il processo che permette di ricavare un output dai valori di input non è più un puro calcolo, ovvero un'operazione diretta di trasformazione dei dati di input in dati di output, ma avviene attraverso varie fasi: prima di tutto convertendo i dati osservati nel mondo reale in dati d'ingresso "fuzzy" approssimati; poi individuando le regole più adatte da applicare nelle condizioni ambientali rilevate; quindi, calcolando con i dati d'ingresso una combinazione matematica fra tutte le regole prescelte; infine, ottenendo l'output che viene di nuovo trasformato nel modo più adatto per il mondo reale di destinazione.

Questa impostazione non solo aumenta l'intelligenza del sistema di controllo,

ma offre benefici che si ripercuotono direttamente sulla velocità di calcolo e sull'occupazione di silicio dei microcontrollori, due vantaggi che esaltano la competitività di questi prodotti sul mercato, abbassandone al tempo stesso il costo di produzione.

Ciò che rende interessanti per il mercato dell'elettronica di consumo le logiche "fuzzy" è la relativa facilità di creare algoritmi di controllo efficaci quanto piccoli nelle dimensioni e, soprattutto, vicini al linguaggio del consumatore.

Grazie a questa prerogativa, bastano pochi parametri e pochissime righe di codice per costruire un controllo che altrimenti avrebbe chiesto un ingombro ben maggiore.

A ben vedere, la convenienza nell'uso sugli elettrodomestici è anche il netto

vantaggio che hanno le logiche fuzzy rispetto alle reti neurali. Queste ultime offrono prestazioni certamente più "intelligenti", essendo perfino in grado di costruirsi autonomamente la propria base di conoscenze e le regole di calcolo di cui hanno bisogno, partendo dalla sola osservazione dell'ambiente in cui si trovano, ma a prezzo di una complessità di implementazione sia software, sia hardware di gran lunga superiore.

Le reti neurali sono troppo costose per l'elettronica di consumo e restano tuttora limitate a segmenti applicativi ristretti, mentre le logiche fuzzy hanno conquistato un certo gradimento da parte dei progettisti proprio grazie alla loro favorevole convenienza commerciale. 