

## PERTEMUAN 10

### LOGIKA FUZZY

#### A. Tujuan Pembelajaran

Pada tahap ini mahasiswa menjelaskan tentang Logika Fuzzy yaitu suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran antara benar atau salah.

#### B. Uraian Materi

##### 1. Definisi Logika Fuzzy

Insinyur Inggris Ebrahim Mamdani adalah orang pertama yang menggunakan set fuzzy dalam sistem kontrol praktis, dan itu terjadi hampir secara tidak sengaja. Pada awal 1970-an, dia mengembangkan sistem kontrol otomatis untuk mesin uap dengan menggunakan keahlian seorang operator manusia.

Rencana awalnya adalah untuk membuat sistem berdasarkan teori keputusan Bayesian, metode untuk mendefinisikan probabilitas dalam situasi tidak pasti yang mempertimbangkan peristiwa setelah fakta untuk mengubah prediksi tentang hasil di masa depan. Operator manusia menyesuaikan throttle dan panas boiler sesuai kebutuhan untuk mempertahankan kecepatan mesin uap dan tekanan boiler.

Mamdani menggabungkan respons operator ke dalam algoritme cerdas (rumus matematika) yang belajar mengontrol mesin. Tetapi ketika dia segera menemukannya, algoritme tersebut berkinerja buruk dibandingkan dengan operator manusia. Metode yang lebih baik, pikirnya, mungkin membuat deskripsi abstrak tentang perilaku mesin.

Dia bisa terus meningkatkan pengontrol pembelajaran. Sebaliknya, Mamdani dan rekan-rekannya memutuskan untuk menggunakan metode kecerdasan buatan yang disebut sistem pakar berbasis aturan, yang menggabungkan keahlian manusia dengan serangkaian aturan logis untuk menggunakan pengetahuan tersebut. Sementara mereka berjuang untuk menulis aturan tradisional menggunakan bahasa komputer Lisp, mereka menemukan makalah baru oleh Lotfi Zadeh tentang penggunaan aturan dan

algoritma fuzzy untuk analisis dan pengambilan keputusan dalam sistem yang kompleks. Mamdani segera memutuskan untuk mencoba ketidakjelasan, dan dalam "hanya seminggu" telah membaca makalah Zadeh dan menghasilkan pengontrol fuzzy. Seperti yang telah ditulis Mamdani, "sungguh 'mengejutkan' betapa mudahnya merancang pengontrol berbasis aturan" berdasarkan kombinasi variabel linguistik dan matematika. Pada akhir 1970-an, dua insinyur Denmark, Lauritz Peter Holmblad dan Jens-Jurgen Ostergaard, mengembangkan sistem kontrol fuzzy komersial pertama, untuk kiln semen. Mereka juga membuat satu untuk tempat pembakaran kapur di Swedia, dan beberapa lainnya.

## 2. Sistem Fuzzy Komersial

Sistem fuzzy paling spektakuler yang berfungsi saat ini adalah kereta bawah tanah di kota Sendai, Jepang. Sejak tahun 1987, sistem kendali fuzzy telah membuat kereta terus berputar dengan cepat di sepanjang rute, mengerem dan mempercepat dengan hati-hati, meluncur ke stasiun, berhenti tepat, tanpa kehilangan satu detik pun atau membuat penumpang tersentak.

Raksasa produk konsumen Jepang seperti Matsushita dan Nissan juga ikut serta dalam kereta musik fuzzy. Penyedot debu dan mesin cuci Matsushita yang fuzzy dapat ditemukan di banyak rumah di Jepang. Mesin cuci mengevaluasi muatan dan menyesuaikannya dengan jumlah detergen yang dibutuhkan, suhu air, dan jenis siklus pencucian. Puluhan ribu camcorder fuzzy Matsushita menghasilkan gambar yang jelas dengan secara otomatis merekam gerakan yang dituju lensa, bukan getaran tangan yang menggenggamnya. Perangkat TV fuzzy Sony secara otomatis menyesuaikan kontras, kecerahan, ketajaman, dan warna.

Transmisi otomatis kabur dari Nissan dan rem antilock fuzzy ada di dalam mobilnya. Mitsubishi Heavy Industries merancang sistem kontrol fuzzy untuk elevator, meningkatkan efisiensinya dalam menangani orang banyak yang ingin naik elevator pada saat yang bersamaan. Sistem ini secara khusus menangkap imajinasi perusahaan di tempat lain di dunia.

Di Amerika Serikat, Otis Elevator Company sedang mengembangkan produk fuzzynya sendiri untuk penjadwalan elevator untuk permintaan yang bervariasi waktu. Karena Pencipta Kerenyahan, Aristoteles, memiliki sedikit keraguan tentang aplikasinya pada segala hal, tidak mengherankan bahwa

metode lain untuk menangani ketidakstabilan juga ada. Beberapa dari mereka berusia beberapa abad.

### 3. Nilai Sistem Fuzzy

Menulis 20 tahun kemudian, Ebrahim Mamdani mencatat bahwa kejutan yang dia rasakan tentang keberhasilan pengontrol fuzzy didasarkan pada bias budaya yang mendukung teori kontrol konvensional. Kebanyakan pengontrol menggunakan apa yang disebut hukum kontrol proporsional-integral-derivatif (PID). Hukum matematika yang canggih ini mengasumsikan perilaku linier atau seragam oleh sistem yang akan dikontrol.

Terlepas dari penyederhanaan ini, pengontrol PID populer karena mereka mempertahankan kinerja yang baik dengan hanya mengizinkan kesalahan kecil, bahkan ketika gangguan eksternal terjadi mengancam untuk membuat sistem tidak stabil. Faktanya, pengontrol PID memiliki reputasi yang tinggi sehingga setiap metode kontrol alternatif diharapkan sama canggihnya (artinya rumit), yang oleh Mamdani disebut sebagai "kultus analitik." Salah satu "kekurangan" dari logika fuzzy adalah ia bekerja hanya dengan beberapa aturan sederhana. Dengan kata lain, ini tidak sesuai dengan ekspektasi orang-orang tentang seperti apa seharusnya pengontrol yang "baik".

Dan tentunya tidak cepat dan mudah untuk diproduksi. Meskipun terjadi guncangan budaya, sistem kontrol fuzzy berfungsi lebih cepat di Jepang daripada di Amerika Serikat karena dua kelemahan dari kontroler konvensional. Pertama, banyak proses yang tidak linier, dan terlalu rumit untuk dimodelkan secara matematis. Sistem manajemen, ekonomi, dan telekomunikasi adalah contohnya. Kedua, bahkan untuk proses industri tradisional yang menggunakan pengontrol PID, tidak mudah untuk menggambarkan apa arti istilah stabilitas. Seperti yang dicatat oleh Mamdani, gagasan yang membutuhkan definisi matematika tentang stabilitas telah menjadi pandangan akademis yang belum benar-benar digunakan di tempat kerja.

Tidak ada standar industri tentang "stabilitas", dan berbagai metode untuk mendeskripsikannya adalah rekomendasi, bukan persyaratan. Dalam istilah praktis, nilai pengontrol ditunjukkan oleh uji prototipe daripada analisis stabilitas. Faktanya, kata Mamdani, pengalaman dengan pengontrol fuzzy telah

menunjukkan bahwa pengontrol ini seringkali lebih kuat dan stabil daripada pengontrol PID.

Ada lima jenis sistem di mana ketidakjelasan diperlukan atau menguntungkan:

- a. Sistem kompleks yang sulit atau tidak mungkin untuk dimodelkan
- b. Sistem yang dikendalikan oleh ahli manusia
- c. Sistem dengan masukan dan keluaran yang kompleks dan berkelanjutan
- d. Sistem yang menggunakan pengamatan manusia sebagai masukan atau sebagai dasar untuk aturan

Sistem yang secara alami tidak jelas, seperti yang ada di ilmu perilaku dan social.

#### **4. Keuntungan dan Kerugian**

Menurut Datapro, industri logika fuzzy Jepang bernilai miliaran dolar, dan total pendapatan di seluruh dunia diproyeksikan sekitar \$ 650 juta untuk 1993. Pada tahun 1997, angka itu diharapkan meningkat menjadi \$ 6,1 miliar. Menurut sumber lain, Jepang saat ini menghabiskan \$ 500 juta setahun untuk R&D Sistem Fuzzy. Dan itu mulai populer di Amerika Serikat, tempat semuanya dimulai.

- a. Keunggulan Fuzzy Logic untuk Pengendalian Sistem
  - 1) Lebih sedikit nilai, aturan, dan keputusan yang dibutuhkan.
  - 2) Variabel yang lebih diamati dapat dievaluasi.
  - 3) Linguistik, bukan numerik, variabel digunakan, membuatnya mirip dengan cara berpikir manusia.
  - 4) Ini menghubungkan output dengan input, tanpa harus memahami semua variabel, memungkinkan desain sistem yang mungkin lebih akurat dan stabil daripada sistem kontrol konvensional.
  - 5) Kesederhanaan memungkinkan pemecahan masalah yang sebelumnya tidak terpecahkan.
  - 6) Pembuatan prototipe cepat dapat dilakukan karena perancang sistem tidak harus mengetahui segalanya tentang sistem sebelum mulai bekerja.
  - 7) Lebih murah untuk dibuat daripada sistem konvensional karena lebih mudah untuk dirancang.
  - 8) Mereka telah meningkatkan ketahanan.

- 9) Mereka menyederhanakan akuisisi dan representasi pengetahuan.
- 10) Beberapa aturan mencakup kompleksitas yang luar biasa.

b. Kekurangannya

- 1) Sulit untuk mengembangkan model dari sistem fuzzy.
- 2) Meskipun lebih mudah untuk dirancang dan lebih cepat untuk membuat prototipe daripada sistem kontrol konvensional, sistem fuzzy memerlukan lebih banyak simulasi dan penyetelan sebelum dioperasikan.

Mungkin kelemahan terbesar adalah bias budaya di Amerika Serikat yang mendukung sistem yang tepat secara matematis atau tajam dan model linier untuk sistem control.

## 5. Pengembalian Keputusan Fuzzy

Pengambilan keputusan fuzzy adalah sistem fuzzy khusus yang berorientasi pada bahasa yang digunakan untuk membuat keputusan manajemen pribadi dan bisnis, seperti membeli mobil dan peralatan. Itu bahkan telah digunakan untuk membantu menyelesaikan ambiguitas dalam pemilihan pasangan! Pada tingkat yang lebih praktis, pembuat keputusan fuzzy telah digunakan untuk mengoptimalkan pembelian mobil dan VCR. Fuji Bank telah mengembangkan sistem pendukung keputusan yang kabur untuk perdagangan sekuritas.

Saat ini, logika fuzzy sedang dimasukkan ke dalam sistem yang tajam dan bekerja sama dengan teknik canggih lainnya, seperti jaringan saraf, untuk menghasilkan hasil yang ditingkatkan dengan sedikit usaha. Jaringan saraf, juga disebut pemrosesan terdistribusi paralel, adalah jenis pemrosesan informasi yang dimodelkan pada pemrosesan oleh otak manusia.

Jaringan saraf semakin banyak digabungkan dengan logika fuzzy untuk bekerja lebih efektif daripada format yang bisa sendiri. Jaringan neural adalah jaringan node tunggal atau multilayer (elemen komputasi) dan tautan berbobot (busur) yang digunakan untuk pencocokan pola, klasifikasi, dan masalah nonnumerik lainnya. Jaringan mencapai hasil "cerdas" melalui banyak komputasi paralel tanpa menggunakan aturan atau struktur logis lainnya.

Seperti di otak, banyak node atau neuron menerima sinyal, memprosesnya, dan "menembak" neuron lain. Setiap node menerima banyak sinyal dan, setelah diproses, mengirimkan sinyal ke banyak node. Jaringan

"dilatih" untuk mengenali pola dengan memperkuat sinyal (menyesuaikan bobot busur) yang paling efisien mengarah ke hasil yang diinginkan dan melemahkan sinyal yang salah atau tidak efisien. Jaringan "mengingat" pola ini dan menggunakannya saat memproses data baru. Sebagian besar jaringan adalah perangkat lunak, meskipun beberapa perangkat keras telah dikembangkan.

Peneliti menggunakan jaringan saraf untuk menghasilkan aturan fuzzy. Untuk sistem kendali fuzzy, jaringan saraf digunakan untuk menentukan aturan mana yang paling efektif untuk proses yang terlibat. Jaringan dapat melakukan tugas ini lebih cepat dan efisien daripada evaluasi sistem kontrol. Dan membalikkan tabel, teknik fuzzy digunakan untuk merancang jaringan saraf.

#### a. Penalaran Kualitatif

Penalaran kualitatif adalah metode penalaran mendalam berbasis akal sehat lainnya tentang ketidakpastian yang menggunakan model data terutama linguistik, serta numerik untuk menggambarkan masalah dan memprediksi perilaku. Penalaran kualitatif telah digunakan untuk mempelajari masalah dalam fisika, teknik, kedokteran, dan ilmu komputer.

#### b. Dukungan

Pengesahan melibatkan identifikasi dan penamaan faktor kepastian dan ketidakpastian untuk membenarkan keyakinan dan ketidakpercayaan. Metode, yang ditemukan oleh seorang Amerika Paul Cohen pada awal 1980-an, memungkinkan pengutamaan non-matematis dari alternatif sesuai dengan seberapa besar kemungkinan masing-masing untuk berhasil atau seberapa cocok untuk digunakan. Ini juga menentukan bagaimana sumber berinteraksi dan memberikan aturan untuk kombinasi peringkat sumber. Misalnya, mereka dapat diurutkan menjadi alternatif yang mungkin dan tidak mungkin.

Berguna, misalnya, dalam memprioritaskan tugas berdasarkan kesesuaian atau kemungkinan berhasil. Endorsemen adalah objek yang mewakili alasan spesifik untuk mempercayai (endorsemen positif) dan tidak mempercayai (endorsemen negatif) bukti terkait mereka, yang terdiri dari proposisi logis. Pengesahan adalah proses mengidentifikasi faktor-faktor yang terkait dengan kepastian dalam situasi tertentu. Misalnya, dalam memprediksi cuaca besok, kesimpulan bahwa cuaca akan cerah, berdasarkan gambar cuaca

satelit, mungkin lebih baik didukung daripada kesimpulan bahwa akan hujan besok, karena pada saat itulah Layanan Cuaca berkantor. Piknik.

## 6. Kendali Logika Fuzzy

Jika nama Nissan, Matsushita, dan Fuji Bank mengejutkan Anda, pasti ada alasannya. Seperti yang mereka tunjukkan, Jepang adalah produsen aplikasi komersial berbasis fuzzy terbesar di dunia. Ilmuwan dan insinyur Jepang termasuk di antara pendukung paling awal karya Lotfi Zadeh dan, pada akhir 1960-an, telah memperkenalkan ketidakjelasan di negara itu. Selain itu, penelitian tentang konsep dan produk fuzzy dilakukan dengan antusias di China.

Menurut sebuah survei, ada lebih banyak ilmuwan dan insinyur yang berorientasi pada fuzzy di sana daripada di negara lain mana pun. Mengapa logika kabur begitu mudah ditangkap di negara-negara Asia, saat berjuang untuk sukses komersial di Amerika Serikat dan di tempat lain di Barat? Ada dua kemungkinan.

Satu jawaban ditemukan dalam budaya tradisional yang berbeda. Seperti yang Anda lihat sebelumnya, salah satu ciri khas budaya Barat adalah pendekatan Aristotelian baik-atau terhadap pemikiran dan tindakan.

Daya saing individu dan pemisahan tindakan manusia dari kekuatan alam telah membantu perkembangan awal teknologi di Eropa dan Amerika Serikat. Kebudayaan Tiongkok dan Jepang berkembang dengan prioritas yang berbeda. Kekuatan dan kesuksesan dicapai melalui konsensus dan akomodasi di antara kelompok. Sikap tradisional ini, yang sangat membingungkan orang Amerika, adalah dasar dari transaksi bisnis Jepang saat ini, dari perusahaan terkecil hingga perusahaan teknologi tinggi terbesar.

Selain itu, kekuatan alam secara tradisional diharapkan untuk diseimbangkan antara ekstrem yang saling melengkapi — YinYang dari Zen adalah contohnya. Logika fuzzy jauh lebih cocok dengan prinsip-prinsip ini daripada dengan konsep Barat yang berorientasi matematis. Atau mungkin saja pendirian industri pemerintah yang berorientasi pada penelitian di Jepang lebih terbuka untuk ide-ide dan pendekatan baru daripada di perusahaan-perusahaan Barat yang berorientasi pada manajemen dan garis bawah.

Dua kategori besar metode ketidakpastian sedang digunakan — probabilistik dan nonprobabilistik. Teknik probabilistik dan statistik umumnya

diterapkan di seluruh ilmu alam dan sosial dan digunakan secara luas dalam kecerdasan buatan. Beberapa metode nonprobabilistik telah dirancang untuk pemecahan masalah, terutama solusi terkomputerisasi yang "cerdas" untuk masalah dunia nyata. Selain logika fuzzy, mereka menyertakan logika default, teori bukti Dempster-Shafer, sistem berbasis dukungan, dan penalaran kualitatif.

Teori probabilitas adalah pemeriksaan formal kemungkinan (peluang) bahwa suatu peristiwa akan terjadi, diukur dalam kaitannya dengan rasio jumlah kejadian yang diharapkan dengan jumlah total kemungkinan kejadian. Metode probabilistik atau stokastik menggambarkan proses di mana kejadian tidak tepat atau acak mempengaruhi nilai variabel, sehingga hasil hanya dapat diberikan dalam bentuk probabilitas.

Misalnya, jika Anda melempar koin biasa, Anda memiliki peluang 50-50 untuk mendapatkan kepala. Ini juga menjadi dasar untuk berbagai permainan untung-untungan, seperti dadu (melibatkan dua dadu bersisi enam) dan permainan kartu 21 atau blackjack. Pada tingkat yang lebih ilmiah, ini digunakan dalam metode Monte Carlo yang terkomputerisasi.

Aturan Bayes atau teori keputusan Bayesian adalah variasi teori probabilitas yang banyak digunakan yang menganalisis situasi masa lalu yang tidak pasti dan menentukan probabilitas bahwa peristiwa tertentu menyebabkan hasil yang diketahui. Analisis ini kemudian digunakan untuk memprediksi hasil di masa depan. Contohnya adalah memprediksi keakuratan diagnosis medis, penyebab sekelompok gejala, berdasarkan pengalaman masa lalu.

Aturan itu sendiri dikembangkan pada pertengahan abad kedelapan belas oleh Thomas Bayes, tetapi tidak dipopulerkan hingga tahun 1960-an. Ini bekerja paling baik ketika sejumlah besar data tersedia. Aturan Bayes mempertimbangkan kemungkinan dua peristiwa di masa depan terjadi. Kemudian, anggaplah peristiwa pertama terjadi, mengambil rasio probabilitas kedua peristiwa tersebut sebagai probabilitas keduanya terjadi. Dengan kata lain, semakin besar kepercayaan pada kebenaran tentang fakta masa lalu atau kejadian di masa depan, semakin besar kemungkinan fakta tersebut benar atau peristiwa yang akan terjadi.

Pengetahuan esensial tentang dinamika suatu tumbuhan dapat disajikan dalam bentuk basis aturan linguistik. Untuk melakukan sintesis kontrol, diperlukan model informasi linguistik serta proses inferensi, proses agregasi,



dan mungkin proses defuzzifikasi. Penggunaan logika fuzzy untuk mengubah pengetahuan linguistik menjadi hukum kontrol aktual mengarah ke bidang kontrol fuzzy. Ide utama dari kendali fuzzy adalah merumuskan algoritma untuk mengontrol hukum menggunakan aturan logis. Itulah mengapa terkadang kami menyebut metodologi ini kontrol logika fuzzy.

Aturan tersebut diperoleh dari para ahli (pengendali manusia) atau dihasilkan dari pengamatan numerik. Ketika ahli manusia berpengalaman dalam mengendalikan sistem tertentu tersedia, insinyur desain dapat mewawancarai ahli ini tentang strategi kontrol mereka dan kemudian mengungkapkan pengetahuan ahli sebagai kumpulan aturan kontrol "If ... then ... <sup>TM</sup>". Bahkan ketika hubungan input-output dalam sistem yang kompleks tidak diketahui secara tepat, perilaku proses kontrol menyediakan sumber informasi yang berharga untuk menyarankan strategi kontrol dan mengekstraksi aturan fuzzy. Artinya, seseorang dapat memberikan input numerik dan mengamati output numerik dari sistem kontrol sebagai sarana untuk mendapatkan kontrol linguistik "If ... then ... <sup>TM</sup> rules.

Jelas bahwa ada fleksibilitas dalam pilihan fungsi keanggotaan, aturan, operasi logika fuzzy, dan prosedur defuzzifikasi ketika merancang pengendali fuzzy. Perhatikan bahwa sistem fuzzy, atau model fuzzy, sebenarnya adalah model matematis - yaitu, deskripsi matematis dari hubungan antar variabel, menggunakan fungsi keanggotaan himpunan fuzzy. Model matematis ini fleksibel, tetapi dalam istilah awam tidak "fuzzy <sup>TM</sup>". Fungsi keanggotaan itu sendiri adalah fungsi matematika yang tepat.

Seperti dalam kasus kontrol standar, di mana keberadaan hukum kontrol harus dijamin sebelum melanjutkan untuk mendapatkan algoritma kontrol, kita harus bertanya apakah basis aturan linguistik yang diberikan cukup untuk mendapatkan hukum kontrol yang "berhasil <sup>TM</sup>". Basis aturan adalah deskripsi tentang bagaimana kita harus mengontrol tanaman. Setiap aturan bersifat 1oka1 - yaitu, setiap aturan memberi tahu kita bagaimana kita harus mengontrol tanaman di beberapa wilayah kecil dari ruang input X.

Karena kita akan menggunakan informasi ini untuk mendapatkan hukum kontrol global  $\phi$ , peta di seluruh ruang masukan X, daerah kecil yang ditentukan dalam aturan ini harus mencakup semua titik X dengan cara tertentu. Dengan kata lain, fungsi keanggotaan yang didefinisikan pada X harus membentuk partisi fuzzy dari X.

Metodologi pengendalian fuzzy terdiri dari pemilihan dan penggunaan fi. kumpulan aturan yang menggambarkan strategi kontrol,

- a. fungsi keanggotaan untuk label linguistik dalam aturan,
- b. penghubung logis untuk relasi fuzzy, dan
- c. metode defuzzifikasi.

Akhirnya, hukum kendali turunan adalah realisasi fungsi  $\phi$  dari  $X$  ke  $U$ , ruang variabel kontrol.

Strategi di atas untuk mendapatkan hukum kontrol didasarkan pada akal sehat. Namun, penerapannya yang berhasil dapat dijelaskan secara teoritis dalam konteks teori pendekatan fungsi. Lihat pernyataan teorema Stone-Weierstrass, misalnya. Sistem fuzzy memenuhi properti aproksimasi universal, yang berarti ada sistem yang akan melakukan tugas yang ingin Anda selesaikan. Namun, ini tidak menjelaskan bagaimana mengatur atau menyetel sistem fuzzy seperti itu. Pembeneran matematis seperti itu hanya memberikan beberapa jaminan bahwa, jika Anda bekerja cukup keras, adalah mungkin untuk merancang pengontrol fuzzy yang sukses. Kemampuan pengendali fuzzy bisa juga dinilai dengan menggunakan konsep yang dikenal sebagai Vapnik – Ghervonenko's dimension dari kelas fungsi, seperti dalam kasus jaringan saraf.

#### Metode Mamdani dan Larsen

Aplikasi pertama logika fuzzy dikembangkan oleh E. H. Mamdani di 1974. Dia merancang sistem kendali fuzzy eksperimental untuk mesin uap dan kombinasi ketel dengan mensintesis seperangkat aturan kendali linguistik yang diperoleh dari operator manusia yang berpengalaman. Metode populer yang sekarang dikenal sebagai metode Mamdani sangat mirip dengan desain aslinya.

Untuk metode Mamdani dan Larsen, basis aturan tipikal adalah dari bentuknya

$R_j$ : Jika  $x$  adalah  $A_j$  maka  $u$  adalah  $B_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, r$

di mana  $x = (x_1, \dots, x_n) \in X$  dan  $u \in U$ , dan  $A_j(x) = \min_{i=1 \dots n} (A_{ji}(x_i))$  untuk

$A_j = A_{j1} \times A_{j2} \times \dots \times A_{jn}$ ;  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$

$B_j: U \rightarrow [0, 1]$

Bagaimana kita bisa menginterpretasikan aturan " $R_j$ : Jika  $A_j(x)$  lalu  $B_j(u)$ "? Salah satu pandangan umum adalah bahwa setiap aturan  $R_j$  mewakili

relasi fuzzy pada  $X \times U$ . Dengan kata lain, ketika inputnya adalah  $x$ , maka sejauh mana nilai  $u \in U$  konsisten (atau kompatibel) dengan makna  $R_j$  adalah

$$C_j(x, u) = T(A_j(x), B_j(u))$$

di mana  $T$  adalah beberapa norma-t. Jadi,  $C_j$  adalah himpunan bagian fuzzy dari  $X \times U$ . Untuk masukan yang diberikan

$x$ ,  $C_j$  menginduksi subset fuzzy dari  $U$ , yaitu

$$C_x(x): u \rightarrow C_j(x, u), u \in U, j = 1, 2, \dots, N$$

Jadi, output dari setiap aturan  $R_j$  adalah subset fuzzy dari  $U$ . Metode Mamdani menggunakan minimum untuk t-norm.

$C_x(u) = C_j(x, u) = A_j(x) \wedge B_j(u)$  dan metode Larsen menggunakan hasil kali untuk t-norm  $C_x(u) = C_j(x, u) = A_j(x) \cdot B_j(u)$

Setelah menerjemahkan setiap aturan  $R_j$  ke dalam  $C_x$ , tugas selanjutnya adalah menggabungkan semua aturan bersama. Kami menghadapi masalah berikut: Diberikan  $N$  subset fuzzy  $C_1, \dots, C_N$  dari  $U$ , kita perlu menggabungkannya untuk menghasilkan keluaran keseluruhan. Dari semantic sudut pandang, tentu saja, ini adalah pertanyaan tentang bagaimana aturan dihubungkan. Dari sudut pandang matematis, kami ingin membentuk subset fuzzy tunggal  $U$  dari  $C_x, j = 1, \dots, N$ . Pada metode Mamdani dan Larsen ini dilakukan dengan cara pengambilan yang maksimal.

Dalam metode Mamdani, untuk setiap  $x \in X = X_1 \times \dots \times X_n$ , ini memberikan subset fuzzy  $C_x(u) = C(u, x) = \max_{j=1, \dots, N} \min_{i=1, \dots, n} \{A_{ji}(x_i), B_j(u)\}$  (4.3) dari  $U$ . Persamaan ini disebut simpthesis Mamdani. Dalam metode Larsen, untuk setiap  $x \in X$ , ini memberikan subset fuzzy  $C_x(u) = C(u, x) = \max_{j=1, \dots, N} \min_{i=1, \dots, n} \{A_{ji}(x_i)\} \cdot B_j(u)$  disebut gejala Larsem.

Output keseluruhan, untuk setiap  $x$ , subset fuzzy  $C_x$  dari  $U$ . Apa arti dari  $C_x$ ? Ketika input  $x$  diberikan, setiap aksi kontrol  $u$  kompatibel dengan derajat  $C_x(u)$ . Kita membutuhkan keluaran numerik tunggal  $u^* = u^*(x)$  untuk hukum kontrol, dan kita perlu mendapatkannya dari subset fuzzy  $C_x$ . Dengan kata lain, kita perlu defuzzifikasi subset fuzzy  $C_x$ . Dalam pendekatan Mamdani dan Larsen, kita defuzzify  $C_x$  dengan menggunakan prosedur center of area (center of gravity atau centroid), yaitu  $u^*(x) = \frac{\int_U u C_x(u) du}{\int_U C_x(u) du}$

Tentu saja, ada banyak cara berbeda untuk mendefuzzifikasi  $C_x$ . Lihat Bagian 3.9 untuk diskusi tentang metode defuzzifikasi. Kompleksitas atau

kecepatan komputasi akan dipengaruhi oleh metode defuzzifikasi. Pertanyaan tentang bagaimana memilih metode defuzzifikasi harus diselesaikan oleh kinerja pengontrol yang diinduksi.

Desain kontrol fuzzy tampaknya sesuai untuk sistem nonlinier yang model matematisnya tidak tersedia. Sementara desain pengendali fuzzy, sebagian besar didasarkan pada aturan linguistik, relatif sederhana dan mengarah pada aplikasi yang berhasil, masih harus dilihat bagaimana masalah terpenting dalam analisis sistem kontrol, yaitu masalah stabilitas, ditangani.

Dalam teori kontrol standar, seseorang perlu mempelajari stabilitas sistem kontrol yang sedang dipertimbangkan, baik untuk dinamika loop terbuka atau dinamika loop tertutupnya (dengan asumsi hukum kontrol telah dirancang). Ini didasarkan pada ketersediaan model matematika untuk sistem. Meskipun dalam sistem nonlinier di mana solusi persamaan diferensial nonlinier sulit diperoleh, pengetahuan tentang persamaan ini penting untuk analisis stabilitas, seperti dalam metode Lyapunov.

Dari sudut pandang praktis, simulasi selalu dapat digunakan untuk menguji stabilitas sistem ketika kontroler fuzzy telah dirancang. Tetapi lebih diinginkan untuk memiliki analisis teoritis stabilitas daripada hanya simulasi "buta"™. Masalah analisis kestabilan sistem kendali fuzzy masih menjadi area penelitian aktif dalam teori kendali fuzzy. Sekarang, seperti yang dinyatakan di atas, sulit untuk melihat bagaimana analisis stabilitas dapat dilakukan tanpa model matematis dari sistem, tetapi kontrol fuzzy ditujukan terutama untuk sistem yang model matematisnya tidak tersedia di tempat pertama. Dengan demikian, untuk mendapatkan analisis stabilitas kontrol fuzzy, tampaknya masuk akal bahwa beberapa bentuk model harus diketahui. Dengan kata lain, analisis stabilitas sistem kendali fuzzy hanya mungkin dilakukan jika masalahnya berbasis model.

Pendekatan berbasis model untuk kontrol fuzzy tidak selalu berarti bahwa model matematika tersedia. Model yang kami rujuk adalah model fuzzy sebagai lawan dari model matematika presisi yang digunakan dalam kontrol standar. Secara matematis, model fuzzy adalah model matematika yang melibatkan istilah-istilah fuzzy. Jadi, model fuzzy adalah generalisasi dari model "crisp"™.

Analisis stabilitas sistem kendali fuzzy berbasis model dilakukan oleh Tanaka dan Sugeno pada menggunakan model Takagi-Sugeno. Berikut ringkasan pendekatan mereka terhadap analisis stabilitas, menggunakan

metode langsung Lyapunov. Dalam bentuk diskrit, model dinamika fuzzy Takagi-Sugeno menggambarkan secara lokal hubungan linier antara input dan output dari sistem.

Biarkan variabel negara dan input kontrol menjadi  $x(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ \dots \ x_n(k)]^T$  dan  $u(k) = [u_1(k) \ u_2(k) \ \dots \ u_m(k)]^T$ . Model fuzzy adalah kumpulan aturan fuzzy  $R_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, r$ , dari bentuk  $R_j$ : Jika  $x_1(k)$  adalah  $A_{j1}$  dan  $x_2(k)$  adalah  $A_{j2}$  dan ... dan  $x_n(k)$  adalah  $A_{jn}$ , maka  $x(k) \text{ THEN } y(k) = B_j$  di mana  $A_{ji}$ 's,  $j = 1, \dots, r$   $i = 1, \dots, n$ , adalah subset fuzzy dari ruang negara

### C. Soal Latihan/Tugas

1. Hal apa saja yang perlu di perhatikan saat membuat aturan logika fuzzy?
2. Kekurangan dalam logika fuzzy ?

### D. Referensi

- Computer Design Magazine. Proc. Fuzzy Logic '93.
- Fuzzy Logic Systems Institute, Inc. Proc. 2nd International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks [FUZZ-92], 2 vols. New York: Fuzzy Logic Systems Institute, 1992.
- IEEE Neural Networks Council. Proc. Second IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Mar. 28-Apr. 1, 1993. (FUZZ-IEEE 93), 2 vols.
- Kyushu Institute of Technology. Proc. International Conf. on Fuzzy Logic and Neural Networks.
- Especially: E. Akaiwa et al. Hardware and Software of Fuzzy Logic Controlled Cardiac Pacemaker, p. 549.
- J.L. Castro et al. On the Semantic of Implication, p. 719.
- M. Delgado et al. The Generalized "Modus Ponens" with Linguistics Labels, p. 725.
- T. Hakata and J. Masuda. Fuzzy Control of Cooling System Utilizing Heat Storage, p. 77.
- S. Kageyama et al. Blood Glucose Control By a Fuzzy Control System, p. 557.
- R. Lopez de Mantaras et al. Connective Operator Elicitation For Linguistic Term Sets, p. 729.
- E.H. Ruspini. Similarity-Based Interpretations of Fuzzy Logic Concepts, p. 735.

L. Valverde and L. Godo. On the Functional Approach to Approximate Reasoning Models, p. 739.

T. Watanabe et al. "AI and Fuzzy"-Based Tunnel Ventilation Control System, p. 72.

.