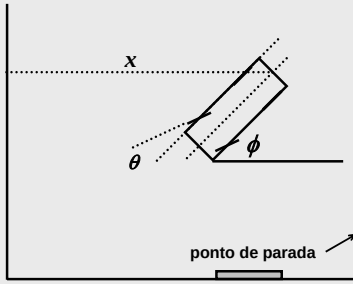
SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Exemplo: **Estacionamento de um veículo**



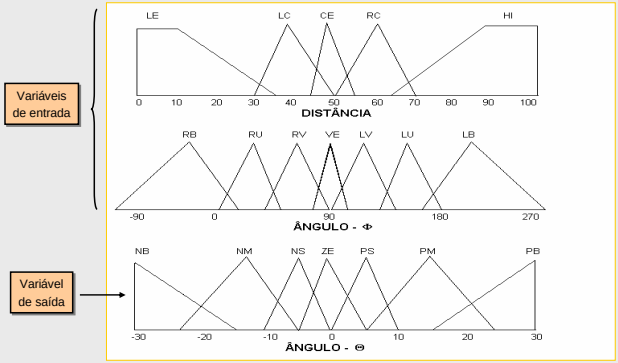
ponto de parada

x: central (CE)

ϕ = 90 º ou vertical (VE)

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Conjuntos fuzzy:



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

BASE DE REGRAS: ***FUZZY ASSOCIATIVE MEMORY***

ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

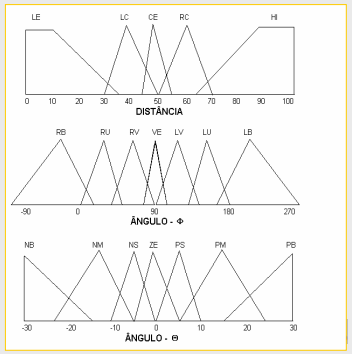
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS

Regra: *se (x é* LE*) e (*ϕ *é* RB*) então (*θ *é* PS*)*

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas: x = 47,5m ϕ = 99°

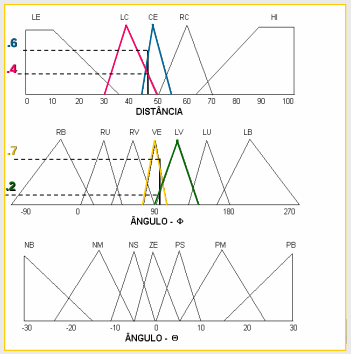
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas: x = 47,5m ϕ = 99°

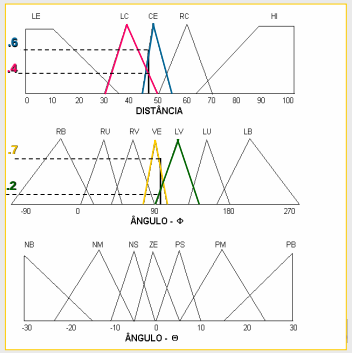
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas: x = 47,5m ϕ = 99°

ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Operadores considerados ***neste exemplo***:

- conectivo *e* (f_e) ⇒ ***min***
- implicação ⇒ ***min***
- ***norma-t*** no ***modus ponens generalizado*** ⇒ ***min***
  (regra de inferência – composição de relações)
- conectivo *ou* (f_{ou}) ⇒ ***max***

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Exemplo: **Regra^{4,2}: se** (x **é** LC) **e** (ϕ **é** VE) **então** (θ **é** LM)

- conectivo **e** (f_e) ⇒ ***min***
- implicação ⇒ ***min***
- ***norma-t*** **no** ***modus ponens generalizado*** ⇒ ***min***

  (regra de inferência – composição de relações – sup-star**)**

A_1^* e A_2^* são conjuntos singletons

$$\mu_{B^*}(\theta) = \max_{x,\phi}[(\mu_{A_1^*}(x) \wedge \mu_{A_2^*}(\phi)) * \mu_{A\to B}(x,\phi,\theta)] \Rightarrow \mu_{B^*}(\theta) = \mu_{A\to B}(x',\phi',\theta)$$

$$\mu_{B^*}(\theta) = (\mu_{A_1}(x') \wedge \mu_{A_2}(\phi')) \wedge \mu_B(\theta)$$

- conectivo ***ou*** (f_{ou}) ⇒ ***max*** (união das quatro regras)

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Dois antecedentes: $\mu_{B^*}(\theta) = (\mu_{A_1}(x') \wedge \mu_{A_2}(\phi')) \wedge \mu_B(\theta)$

Para cada uma das regras ativadas, tem-se:
(cf. figuras a seguir)

$$\mu_{NM^*}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0{,}4 \wedge 0{,}7) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0{,}4 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

$$\mu_{NM^*}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0{,}4 \wedge 0{,}2) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0{,}2 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

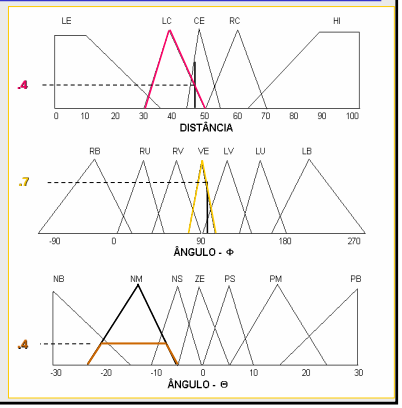
$$\mu_{ZE^*}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = (0{,}6 \wedge 0{,}7) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = 0{,}6 \wedge \mu_{ZE}(\theta)$$

$$\mu_{NS^*}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NS}(\theta) = (0{,}6 \wedge 0{,}2) \wedge \mu_{NS}(\theta) = 0{,}2 \wedge \mu_{NS}(\theta)$$

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{NM^*}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0{,}4 \wedge 0{,}7) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0{,}4 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

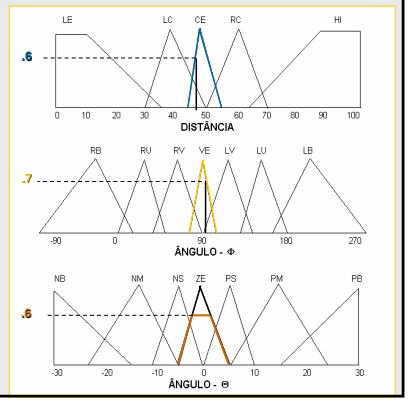
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{ZE^*}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = (0{,}6 \wedge 0{,}7) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = 0{,}6 \wedge \mu_{ZE}(\theta)$$

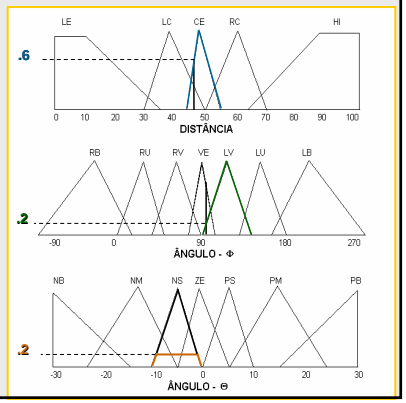
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{NS'}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NS}(\theta) = (0{,}6 \wedge 0{,}2) \wedge \mu_{NS}(\theta) = 0{,}2 \wedge \mu_{NS}(\theta)$$

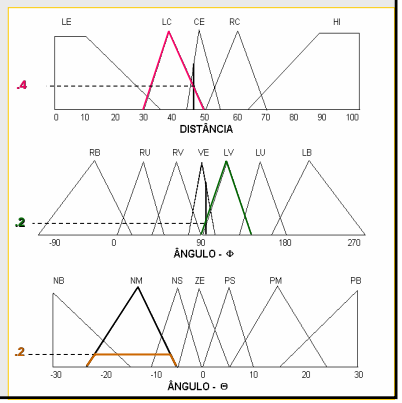
ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

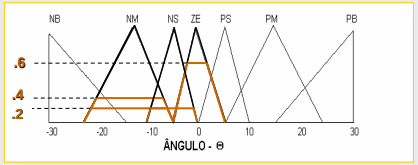
$$\mu_{NM'}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0{,}4 \wedge 0{,}2) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0{,}2 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

ϕ \ x	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



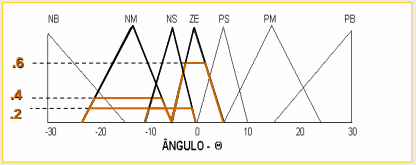
SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

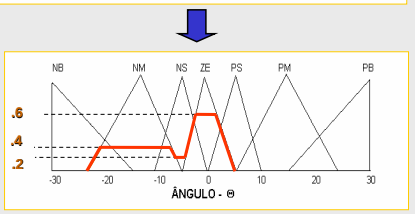
União dos consequentes de cada regra



SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

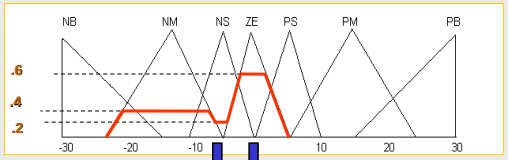
União dos consequentes de cada regra





SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Defuzzificação:



COG **MOM**

considera todas as regras → forma dos conjuntos é importante

considera somente as regras com o *maior grau de ativação*

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Número de conjuntos (ou de funções de pertinência) ***dos antecedentes***

⇓

Número de regras possíveis
(5 x 7 = 35, ***no exemplo***)

muitos conjuntos ⇒

- *dificuldade na construção da base de regras*
- *maior custo computacional*
- *menor interpretabilidade (lingüística)*

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Formas das funções de pertinência

⇓

- *arbitrárias, de início*
- *ajustadas de acordo com o desempenho*

⇓

sistemas *neuro-fuzzy* e *fuzzy-genéticos*

SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Conclusão ⇒ o desempenho de um sistema fuzzy é afetado por:

- base de regras
- número e forma dos conjuntos fuzzy
- operador de implicação
- método de defuzzificação