

فصل 13

کاربردهای فازی در مهندسی

ترافیک

بسیاری از مفاهیم مطرح‌شده در حمل و نقل (ترابری) و ارتباطات شهری به صورت ذهنی^۱، غیردقیق و مبهم می‌باشند. زمان مسافرت، میزان ترافیک، وضع آب و هوا، وضعیت جاده و بسیاری از مسائل دیگر، به‌طور کاملاً دقیق در امور ترافیکی بیان نمی‌گردند. مثلاً وقتی می‌خواهید اتومبیل خود را از پارکینگ بیرون آورید، اگر اتومبیلی را مشاهده کنید که با سرعت در خیابان اصلی حرکت می‌کند، توقف می‌نمایید تا ابتدا آن اتومبیل عبور نماید و سپس شما وارد خیابان اصلی شوید. مسلماً هیچ راننده‌ای در این شرایط با استفاده از فرمولهای ریاضی احتمال تصادف خود را محاسبه نمی‌نماید. مثلاً نمی‌گوییم که اتومبیلی در جاده اصلی در فاصله 54 متری ما قرار دارد و با سرعت 64 کیلومتر در ساعت به سمت ما در حرکت است و چون به علت بارندگی سطح جاده لغزنده است، به احتمال 85 درصد تصادف خواهد شد. به عنوان مثالی دیگر می‌توان زمان مسافرت را مورد بررسی قرار داد.

هیچ‌گاه نمی‌گوییم پس از 27 دقیقه و 40 ثانیه به مقصد خواهیم رسید، چون علاوه بر پارامترهایی که به نحوه رانندگی و ویژگیهای اتومبیل بستگی دارد، پارامترهای بسیاری (نحوه رانندگی دیگر رانندگان، وضع آب و هوا، ترافیک جاده و ...) وجود دارد که کنترل آنها در اختیار راننده نیست و به همین دلیل زمان دقیق مسافرت قابل پیش‌بینی نمی‌باشد.

همان‌گونه که مثالهای متعددی را در فصول قبل دیدیم، در مسائلی که انسان قادر به بررسی و تجزیه و تحلیل آن بوده، اما مدل‌سازی ریاضی برای آن، غیرممکن یا بسیار مشکل باشد، از روشهای کنترل فازی عملکرد استفاده می‌شود. بنابراین کنترل سیگنالهای ترافیکی می‌تواند به‌خوبی توسط سیستم کنترل فازی پیاده‌سازی شود.

تحقیقات متعددی در زمینه مهندسی حمل و نقل با استفاده از سیستمهای فازی انجام شده‌اند. در این فصل تعدادی سناریو در مورد ترافیک را مورد بررسی قرار داده، هرکدام را با استفاده از یک سیستم فازی مدل‌سازی خواهیم نمود.

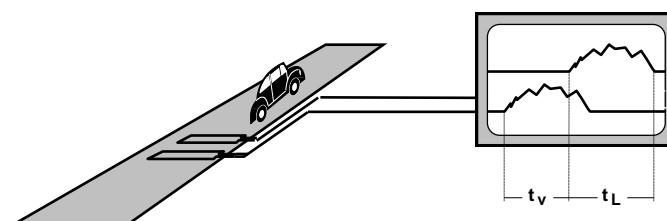
¹ Subjective

13-1: نحوه محاسبه فاکتورهای ورودی

در بخشهای مختلف این فصل به پارامترهای ورودی نیاز داریم. هدف از این بخش آشنایی مختصری راجع به نحوه محاسبه برخی از این پارامترهای ورودی می باشد. خوانندگانی که دارای آشنایی قبلی با این مفاهیم هستند، می توانند بدون از دست دادن کلیات مطالب مطرح شده، از مطالعه این قسمت صرف نظر نمایند.

13-1-1: تعداد اتومبیلهای موجود در یک مسیر

سه روش عمده برای تخمین تعداد اتومبیلهای یک مسیر وجود دارد. در اولین روش، حسگرهایی¹ در ابتدا و انتهای جاده قرار می گیرند. این حسگرها می توانند به سادگی یک حسگر فشار (یا حسگرهای ترکیبی) باشند که ساختار آنها در شکل 13-1 دیده می شود. با عبور اتومبیل از روی دو حسگر موجود، دو سیگنال الکترونیکی (بر اثر فشار وارده) به پردازنده ارسال می گردد. پردازنده بر اساس این داده های دریافتی، می تواند وقوع عمل عبور کردن اتومبیل، نوع اتومبیل و سرعت آن را تشخیص دهد.



Evaluate Speed:	$v_{\text{Vehicle}} = \text{Sensorabstand} / t_v$
Evaluate Length:	$L_{\text{Vehicle}} = v_{\text{Fahrzeug}} / t_L$
$L = 6 \text{ m}$ and $v = 120 \text{ km/h}$:	Car
$L = 14 \text{ m}$ and $v = 100 \text{ km/h}$:	Truck
$L = 8 \text{ m}$ and $v = 100 \text{ km/h}$:	Truck
$L = 8 \text{ m}$ and $v = 140 \text{ km/h}$:	2 Cars

شکل 13-1: حسگر برای تشخیص اتومبیل و عملکرد آن

¹ Sensors

این حسگرها همچنین می‌توانند تعداد اتومبیل ورودی به یک مسیر را نیز مشخص نمایند. برای محاسبه تعداد اتومبیل‌های موجود در یک مسیر، حسگرهای مشابه‌ای در انتهای مسیر نصب می‌شوند تا با محاسبه تفاضل اتومبیل‌های وارد شده و خارج شده، تعداد اتومبیل‌های موجود در مسیر مشخص گردد.

روش دوم، استفاده از پوششگرهای لیزری می‌باشد. در این نوع حسگرها براساس ارسال متوالی پرتوهای لیزری و محاسبه میزان پرتو بازگشتی از طرف اتومبیل‌ها، قادر به تشخیص نوع و تعداد اتومبیل‌ها می‌باشیم.

در روش سوم، از تکنیک‌های پردازش تصویر برای تخمین سرعت، نوع و تعداد اتومبیل‌ها در یک قسمت خاص استفاده می‌شود.

13-1-2: وضع فیزیکی جاده

عملکرد سیستم حرکتی و ترمز اتومبیل علاوه بر ویژگی‌های اتومبیل به وضعیت فیزیکی جاده نیز بستگی دارد. نوع پوشش جاده، دمای سطح جاده، میزان رطوبت جاده و سایر ویژگی‌های جاده در عملکرد اتومبیل تاثیر می‌گذارند. برخی از ویژگی‌های جاده (مانند نوع پوشش آن) ثابت می‌باشد، اما برخی دیگر مانند دما و رطوبت متغیر می‌باشند. عموماً از دو حسگر دما و رطوبت برای بررسی وضعیت جاده استفاده می‌شود.

13-1-3: میزان دید در جاده

یکی از مسائل بسیار مهم در بحث کنترل ترافیک، میزان دید راننده می‌باشد. میزان دید ممکن است بنا به دلایلی از قبیل ترافیک زیاد، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و زمان رانندگی تغییر نماید.

برای یک رانندگی مطمئن، باید سرعت اتومبیل را با میزان دید راننده تنظیم کرد. برای بررسی میزان دید در شرایط آب و هوایی متفاوت (مانند مه، برف، باران، ...) و همچنین زمان رانندگی، از Visual Range Finder استفاده می‌شود. این حسگر از دو دوربین مقابل هم تشکیل شده است که می‌تواند میزان دید راننده را شبیه‌سازی نماید.

13-2: کنترل سیگنالهای چراغ راهنما در تقاطع

سابق بر این، چراغهای کنترلی موجود در تقاطعها برای کاهش تعداد ایستهای یک اتومبیل و تاخیرهای ناشی از این توقفها برنامه‌ریزی می‌شدند. هدف از طراحی سیستمهای کنترل هوشمند و پویای چراغهای راهنما، کاهش تاخیرهای ناشی از ایستادن پشت چراغ قرمز، تعداد ایستهای وسایل نقلیه، مصرف سوخت، آلاینده‌های هوا، هزینه‌های نگهداری اتومبیل، کاهش آلودگی صوتی، طول صفها، بهبود شرایط موجود برای عابرین پیاده و وسایل نقلیه عمومی، امنیت و تسریع در سرویس‌دهی فوریت‌های پزشکی می‌باشد. ساده‌ترین روش کنترلی در چراغهای راهنمایی استفاده از زمانهای ثابت می‌باشد. زمان بهینه با استفاده از فرمول وبستر محاسبه می‌گردد که زمان تاخیر را برای حجم معینی از ترافیک (تعیین شده از قبل) به حداقل می‌رساند:

$$C = \frac{1.5 * F + 5}{1 - \sum \left\{ \max \left(\frac{q_i}{s_i} \right) \right\}}$$

که در فرمول فوق:

C: زمان چرخه بهینه

F: مجموع زمانهای ازدست‌رفته

q_i : جریان ترافیکی در هر جهت (خط) در فاز i برحسب اتومبیل بر ساعت

s_i : جریان اشباع‌شده در هر خط در فاز i برحسب اتومبیل بر ساعت

این روش برای ساعات مختلف روز و در شرایط متفاوت ترافیکی به یک صورت عمل می‌نماید. بنابراین نیاز به روشهای پویا، برای کنترل ترافیک مبتنی بر شرایط مختلف احساس می‌شود. با ظهور ریزکنترل‌کننده‌های سریع و پیشرفته، امکان کنترل پیشرفته‌تر تقاطعها به وجود آمده است. یکی از روشهای پویا، استفاده از روشهای بهینه‌سازی ریاضی می‌باشد. در این‌گونه روشها، بهینه‌سازی براساس مینیمم‌کردن یک پارامتر خاص (که معمولاً میزان تاخیر اتومبیلها است) انجام می‌شود.

فرمول ارائه شده (توسط میلر) برای بهینه‌سازی زمان تاخیر اتومبیلها پشت چراغ راهنمایی در زیر مشاهده می‌شود:

$$T = \left\{ \left[\delta_N + \delta_S - q_N \frac{1 - \frac{\delta_N}{S_N}}{1 - \frac{q_N}{S_N}} - q_S \frac{1 - \frac{\delta_S}{S_S}}{1 - \frac{q_S}{S_S}} \right] (a + r_{NS} + l_{NS}) \right\} - \left\{ h \left[n_W + n_E + \sum_{i=1}^{k_W} q_W + \sum_{i=1}^{k_E} q_E \right] \right\}$$

T = control function, delay difference, s

h = estimated extension interval, s

δ_I = number of vehicles expected to pass through during the h seconds extension,

q_I = arrival rates of vehicles in the next h seconds, veh/s

s_I = saturation flow rates in the next h seconds, veh/s

a = length of the amber phase, s

r_I = length of the next red phase, s

l_I = time lost during acceleration after the end of the red phase, s

n_I = number of vehicles waiting on red approaches,

k_I = time for queue discharging, s

I = index of approaches (N(orth), S(outh), W(east), E(ast)).

البته فرمولهای پیچیده دیگری از جمله فرمول ارائه شده توسط Bang برای بهینه‌سازی ترافیک پیشنهاد شده‌اند. پیچیدگی طراحی کنترل‌کننده سیگنالهای ترافیک، به علت لزوم تکرار تمامی محاسبات در بازه‌های کوتاه زمانی می‌باشد. همان‌گونه که واضح و مشخص است، فرمولهای بالا پیچیده هستند و انجام آنها در زمان کوتاه هزینه‌بر خواهد بود. علاوه بر هزینه بالا، اتفاقات آینده نیز به راحتی قابل پیش‌بینی نیستند، زیرا رفتار کنترل‌کننده براساس داده‌های زمان فعلی بررسی می‌شود.

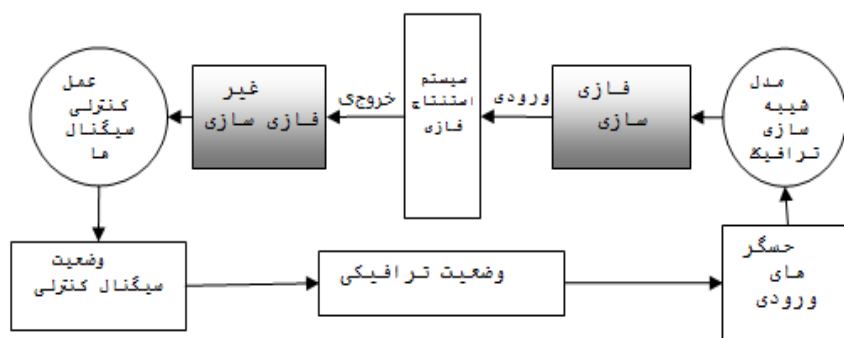
کنترل چراغهای راهنما شامل دو عمل اساسی می‌باشد که این اعمال براساس داده‌های

دریافتی از محیط، به صورت متوالی اجرا می‌گردند. این مراحل عبارتند از:

1. تصمیم‌گیری درباره انتخاب بهترین فاز ترافیکی برای عبور و مرور در مرحله بعدی

2. تصمیم‌گیری درباره بسط زمان فاز جاری یا پایان آن

الگوریتم کنترلی به طور متوالی داده‌ها را از محیط دریافت می‌کند و با تجزیه و تحلیل وضعیت جاری، درباره بهترین حالت ممکن برای فاز بعدی تصمیم‌گیری می‌نماید. مانند اغلب مسائل کنترلی، مساله کنترل چراغهای راهنما نیز شامل مولفه‌های ورودی، واحد پردازشگر، خروجی، هدف، معیارهای ارزیابی و یک چرخه بازخورد¹ می‌باشد. در مرحله بازخورد، ورودی شامل وضعیت ایده‌آل (مطلوب) سیستم و داده‌های دریافتی از محیط می‌باشد. پردازشگر شامل یک پایگاه دانش² مبتنی بر قواعد است. این قواعد با دریافت ورودیها، تصمیمات مقتضی را اتخاذ می‌نمایند و در مورد کنترل سیگنالهای چراغ راهنما تصمیم به پایان فاز جاری یا بسط زمان آن می‌گیرند. خروجی سیستم، یک دنباله تعیین‌شده از فازهای ترافیکی می‌باشد. اهداف مطلوب سیستم شامل مواردی می‌باشد که تصمیم‌گیری براساس داده‌های ورودی و برای برآورده شدن یا نزدیک‌شدن به این اهداف انجام شده است. سیستم فازی طراحی‌شده برای کنترل سیگنالهای چراغ راهنما شامل قسمتهای زیر مطابق شکل 13-2 است.



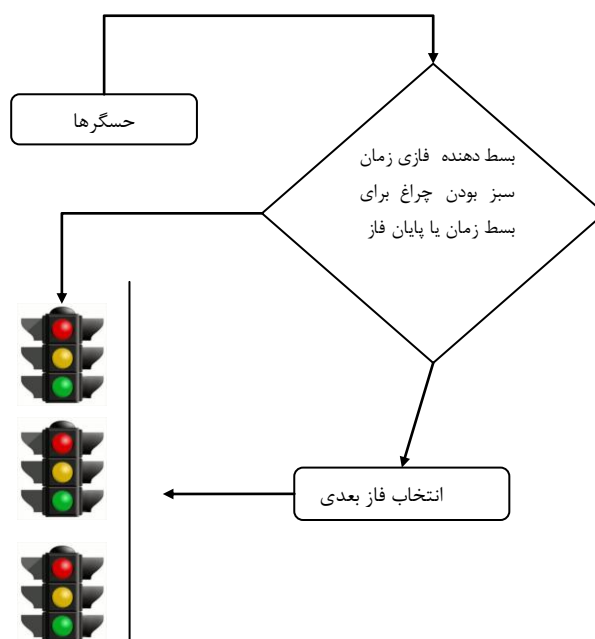
شکل 13-2: مکانیزم کنترلی چراغهای راهنما

¹ Feedback cycle

² Knowledge base

سیستم موجود مراحل زیر را برای انتخاب سیگنال کنترلی مورد نظر به صورت متوالی مطابق شکل 13-3 انجام می‌دهد:

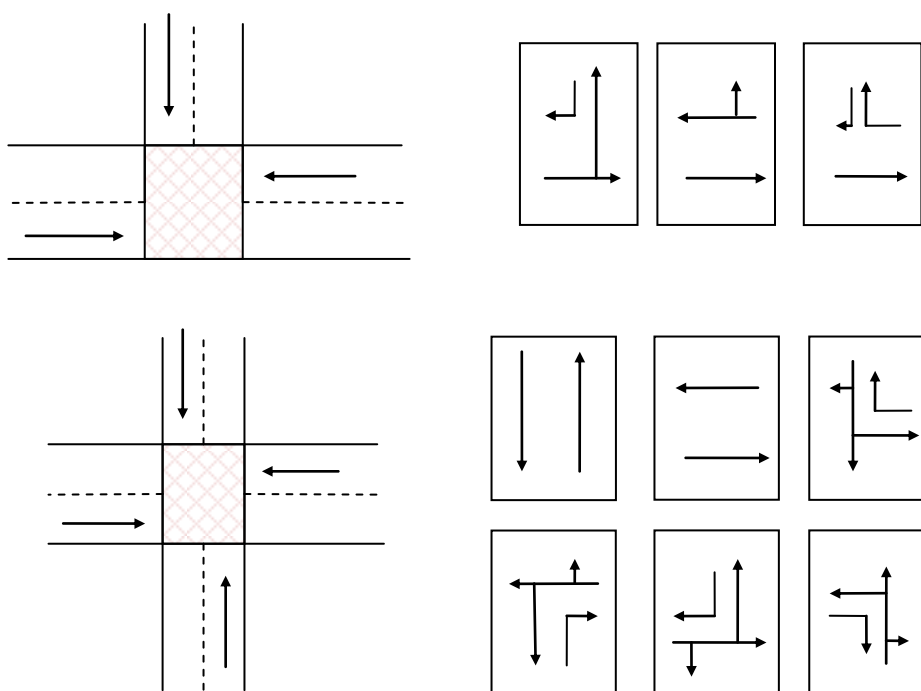
1. داده‌های مورد نیاز را از حسگرهای نصب شده در تقاطع دریافت می‌کند.
 2. بررسی این نکته که آیا زمان فاز مورد نظر (چراغ سبز) نیاز به بسط دارد؟
 - 2.1. اگر نیاز به بسط داشته باشد، عملیات را از مرحله 1 تکرار می‌نماید.
 - 2.2. اگر نیاز به بسط نداشته باشد، به مرحله 3 می‌رود.
 3. فاز بعدی را انتخاب کرده، مراحل را برای آن از ابتدا تکرار می‌کند.
- هدف این سیستم انتخاب دنباله بهینه مسیرها برای عبور اتومبیلها و بلوکه کردن بقیه مسیرها می‌باشد. این کار هنگامی که فاز سبز فعلی پایان یافت، با انتخاب فاز سبز بعدی توسط سیستم طراحی شده انجام می‌شود و بهترین مسیر با توجه به شرایط مسئله انتخاب می‌گردد. انتخاب ترتیب بهینه بستگی به نوع تقاطع (مثل سه‌راه و چهارراه نشان داده شده در شکل 13-4)، ترافیک موجود و حالات ممکن دارد.



شکل 13-3: مراحل کار در چراغ راهنمایی

برای پیاده‌سازی سیستم فازی مورد نظر و بیان قواعد موجود به شکل If-Then، ابتدا هدف سیستم را تعریف می‌کنیم. ممکن است اهداف زیر مدنظر باشند:

- بهینه‌ترین سیستم برای رفت و آمد اتومبیلها (کمترین زمان توقف برای اتومبیلها)
- بهینه‌ترین سیستم برای عابرین پیاده (کمترین زمان انتظار برای عابرین)
- بهینه‌ترین سیستم برای اتومبیلهای اورژانسی
- یک سیستم ترکیبی از موارد فوق



شکل 13-4: فازهای ممکن برای عبور و مرور اتومبیلها در سه‌راه و چهارراه

در ابتدا ساده‌ترین سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این سیستم از عابرین پیاده، اتومبیلهای اورژانسی و سایر موارد موجود در دنیای واقعی صرف‌نظر می‌کنیم. یعنی هدفمان ارائه سیستمی است که برای رفت و آمد اتومبیلها بهینه شده باشد. حال براساس هدفی که مشخص شده است، باید داده‌های ورودی لازم را به دست آوریم. در سیستمهایی با محیط یکسان و اهداف متفاوت، ممکن است ورودیها و خروجیهای متفاوتی داشته باشیم.

ورودیها توسط متغیرها در سیستم نمایش داده می‌شوند. بنابراین، ابتدا متغیرهای لازم را مورد بررسی قرار خواهیم داد. برای مدل‌سازی ساده‌ترین سیستم نیاز به داده‌های ورودی زیر است:

- تعداد اتومبیل‌های منتظر¹ در هر خط (صف) QNA, QNB, QNC
 - تعداد اتومبیل‌های وارد شده² به هر خط در واحد زمان AR-A, AR-B, AR-C
- این داده‌های ورودی (تعداد اتومبیل‌های موجود در خط و تعداد اتومبیل‌های وارد شده به خط در واحد زمان) متغیرهای فازی هستند که می‌توانند با استفاده از مقادیر: خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم بیان شوند. شکل این متغیرها، نحوه توزیع و میزان عضویت هر یک از آنان بستگی به محیط اجرای سیستم دارد. معمولاً برای سادگی، از متغیرهای مثلثی استفاده می‌شود.
- مرحله بعد مشخص نمودن خروجی سیستم است. در این مرحله باید مشخص شود که چه نوع داده‌ای باید به محیط بازگردانده شود. در ساده‌ترین حالت فرض می‌نماییم که خروجی، سیگنالی است که باعث افزایش مقدار ثابتی به زمان سبز بودن فاز جاری و بسط آن، یا اتمام فاز جاری و انتخاب فاز بعدی می‌شود. حال با داشتن متغیرهای ورودی و خروجی می‌توان قواعد لازم را نوشت. قواعد لازم برای تغییر فاز و تصمیم‌گیری در مورد فاز بعدی برای یک تقاطع سه‌راهی (مانند شکل 13-4) که شامل سه مسیر A و B و C می‌باشد، در قالب سه لیست مختلف نوشته شده است. در هر کدام از لیست‌ها فرض شده که در یکی از این مسیرها (مثلاً A) هستیم و دو حق انتخاب دیگر برای ادامه مسیر (یعنی B و C) داریم. در لیست چهارم، قوانین موجود برای ادامه (E: Extend) یا پایان (T: Transform) یک فاز براساس اتومبیل‌های ورودی به مسیرها مورد بررسی قرار می‌گیرد:

¹ In queue

² Arrived

IF	QNA = very long	AND	QNC = very long	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNC = long	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNC = medium	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNC = short	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNA = long	AND	QNC = long	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNC = medium	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNC = short	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNA = medium	AND	QNC = long	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNC = medium	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNC = short	THEN	C
IF	QNA = short	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNA = short	AND	QNC = long	THEN	C
IF	QNA = short	AND	QNC = medium	THEN	C
IF	QNA = short	AND	QNC = short	THEN	A

IF	QNB = very long	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNB = very long	AND	QNC = long	THEN	B
IF	QNB = very long	AND	QNC = medium	THEN	B
IF	QNB = very long	AND	QNC = short	THEN	B
IF	QNB = long	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNB = long	AND	QNC = long	THEN	C
IF	QNB = long	AND	QNC = medium	THEN	B
IF	QNB = long	AND	QNC = short	THEN	B
IF	QNB = medium	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNB = medium	AND	QNC = long	THEN	B
IF	QNB = medium	AND	QNC = medium	THEN	C
IF	QNB = medium	AND	QNC = short	THEN	C
IF	QNB = short	AND	QNC = very long	THEN	C
IF	QNB = short	AND	QNC = long	THEN	C
IF	QNB = short	AND	QNC = medium	THEN	C
IF	QNB = short	AND	QNC = short	THEN	C

IF	QNA = very long	AND	QNB = very long	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNB = long	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNB = medium	THEN	A
IF	QNA = very long	AND	QNB = short	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNB = very long	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNB = long	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNB = medium	THEN	A
IF	QNA = long	AND	QNB = short	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNB = very long	THEN	B
IF	QNA = medium	AND	QNB = long	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNB = medium	THEN	A
IF	QNA = medium	AND	QNB = short	THEN	A
IF	QNA = short	AND	QNB = very long	THEN	B
IF	QNA = short	AND	QNB = long	THEN	B
IF	QNA = short	AND	QNB = medium	THEN	A
IF	QNA = short	AND	QNB = short	THEN	A

IF	QC is short	AND AR is low	AND QN is short	THEN E
IF	QC is short	AND AR is low	AND QN is medium	THEN T
IF	QC is short	AND AR is low	AND QN is long	THEN T
IF	QC is short	AND AR is low	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is short	AND AR is medium	AND QN is short	THEN E
IF	QC is short	AND AR is medium	AND QN is medium	THEN T
IF	QC is short	AND AR is medium	AND QN is long	THEN T
IF	QC is short	AND AR is medium	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is short	AND AR is high	AND QN is short	THEN E
IF	QC is short	AND AR is high	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is short	AND AR is high	AND QN is long	THEN T
IF	QC is short	AND AR is high	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is medium	AND AR is low	AND QN is short	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is low	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is low	AND QN is long	THEN T
IF	QC is medium	AND AR is low	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is medium	AND AR is medium	AND QN is short	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is medium	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is medium	AND QN is long	THEN T
IF	QC is medium	AND AR is medium	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is medium	AND AR is high	AND QN is short	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is high	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is high	AND QN is long	THEN E
IF	QC is medium	AND AR is high	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is long	AND AR is low	AND QN is short	THEN E
IF	QC is long	AND AR is low	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is long	AND AR is low	AND QN is long	THEN E
IF	QC is long	AND AR is low	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is long	AND AR is medium	AND QN is short	THEN E
IF	QC is long	AND AR is medium	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is long	AND AR is medium	AND QN is long	THEN E
IF	QC is long	AND AR is medium	AND QN is very long	THEN T
IF	QC is long	AND AR is high	AND QN is short	THEN E
IF	QC is long	AND AR is high	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is long	AND AR is high	AND QN is long	THEN E
IF	QC is long	AND AR is high	AND QN is very long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is low	AND QN is short	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is low	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is low	AND QN is long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is low	AND QN is very long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is medium	AND QN is short	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is medium	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is medium	AND QN is long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is medium	AND QN is very long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is high	AND QN is short	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is high	AND QN is medium	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is high	AND QN is long	THEN E
IF	QC is very long	AND AR is high	AND QN is very long	THEN E

تاکنون ساده‌ترین حالت ممکن را بررسی کرده‌ایم. حال می‌توان قوانین را به گونه‌ای تغییر داد که سیستم قادر به پشتیبانی از طیف گسترده‌تری از مسائل دنیای واقعی باشد. به عنوان یک ایراد، سیستم فوق از مشکل قحطی‌زدگی رنج می‌برد. یعنی ممکن است در یک خط اتومبیل‌های زیادی در حال رفت و آمد باشند، اما خط دیگر از تعداد اتومبیل‌های کمتری برخوردار باشد. برای حل این مشکل یک متغیر دیگر به سیستم اضافه می‌گردد. TB یک متغیر فازی است که مشخص‌کننده زمان انتظار در فازهای توقف‌کننده می‌باشد. با اضافه نمودن این متغیر قوانین به شکل زیر تغییر می‌نمایند:

IF QC is short AND AR is low AND QN is short And TB = high THEN T
 IF QC is short AND AR is low AND QN is short And TB = Short THEN E
 IF QC is High AND AR is High AND QN is short And TB = high THEN T

می‌توان برای تمام قوانین مطرح‌شده در بالا متغیرهای جدیدی را اضافه نمود. به عنوان مثالی دیگر می‌توان عابرین پیاده را نیز در نظر گرفت و متغیری به نام TP به سیستم اضافه کرد که مشخص‌کننده زمان انتظار عابرین پیاده باشد. همین‌طور برای اتومبیل‌های اورژانسی و ... نیز امکان اضافه نمودن متغیرهای لازم و تغییر قوانین وجود دارد. یکی دیگر از مشکلات سیستم فوق این است که در تمام شرایط، یک مقدار ثابت کوچک را به زمان فاز جاری اضافه می‌نماید. این مقدار را نیز می‌توان به صورت دیگر، یک متغیر فازی در نظر گرفت تا بتواند مقادیر کم، متوسط و زیاد را اختیار کند. روشن است که این امر باعث پویایی بیشتر سیستم خواهد شد. با تغییر خروجی از یک مقدار ثابت به مقدار متغیر فازی، قوانین به شکل زیر تغییر خواهند یافت:

IF QC is long	AND AR is low	AND QN is short	THEN	ES
IF QC is long	AND AR is High	AND QN is Average	THEN	EA
IF QC is very long	AND AR is High	AND QN is short	THEN	EL
IF QC is long	AND AR is Average	AND QN is short	THEN	EL

13-3: انتخاب مسیر

یکی دیگر از مسائل بسیار مهم در کنترل ترافیک، انتخاب مسیر می‌باشد. عموماً مسیرهای متعددی بین یک مبدا و یک مقصد خاص (به‌ویژه در مسافرت‌های برون‌شهری) وجود دارند، هر چند که اغلب رانندگان ترجیح می‌دهند از یک یا تعداد معدودی مسیر که بیشتر آشنا هستند عبور نمایند. شبکه ترافیکی را می‌توان با استفاده از یک گراف نمایش داد. هر مسیر یا به طور خاص هر جاده، از تعدادی ویژگی تشکیل شده است. رانندگان ممکن است مسیر خود را بر اساس یکی از ویژگی‌های زیر انتخاب نمایند:

- طول مسیر
- زمان مسافرت در مسیر
- شلوغی مسیر (تعداد اتومبیل‌های موجود در مسیر یا طول صف)
- امنیت جاده
- تعداد باجه‌های دریافت عوارض موجود در مسیر
- درجه سختی حرکت در مسیر (عرض جاده، تعداد خط‌های موجود در جاده، تعداد موتورسیکلت‌ها، دوچرخه‌ها و عابرین پیاده در مسیر، تعداد چراغ قرمزها و ...)
- چشم‌انداز مسیر و مناظر طبیعی آن
- امکانات رفاهی موجود در مسیر مانند فروشگاه‌ها، پارکینگ، رستوران و ...
- سایر پارامترهایی که می‌تواند مربوط به دلیل مسافرت باشد.

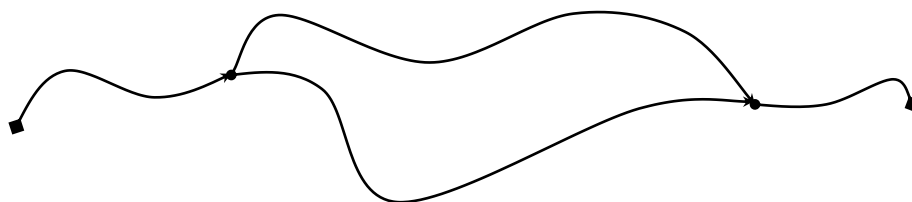
ویژگی‌های هر جاده با مفاهیم غیردقیق و گنگ مانند دور، نزدیک، خیلی شلوغ، راحت، امن و ... ارزیابی می‌گردد. نمی‌توان امنیت یک جاده را با استفاده از مفاهیم عددی مورد بررسی قرار داد. در چه شرایطی یک جاده، امن خوانده می‌شود؟ آیا تعداد پیچ و خم‌های جاده، عرض جاده، میزان بارش برف و باران بر مبنای میلی‌متر در جاده و مقایسه داده‌های حاصل‌شده با معیارهای دقیق، منجر به تصمیم‌گیری در مورد امنیت جاده می‌گردد؟ یا راننده براساس شمارش تعداد اتومبیل‌ها در یک مسیر، تقسیم آن‌ها بر تعداد خطوط و مقایسه نتیجه حاصل با معیارهای از پیش تعیین‌شده در مورد شلوغی جاده تصمیم‌گیری می‌کند؟

بنا به دلایل مذکور، مدل‌سازی شرایط یک مسیر و تصمیم‌گیری در مورد مناسب بودن آن با استفاده از مبانی ریاضیات کلاسیک پیچیده است. اما منطق فازی یکی از بهترین راه‌حلها برای انتخاب مناسب در این‌گونه مسائل می‌باشد.

این بخش را با یک مثال ساده از کاربرد فازی شروع خواهیم نمود. در این مثال فرض می‌کنیم دو مسیر برای رسیدن به یک مقصد مشخص وجود دارد و رانندگان برای تردد، فقط با بررسی فاکتور زمان حرکت در مسیر، بهترین مسیر را انتخاب می‌نمایند. با استفاده از منطق فازی این مساله را مدل کرده و نحوه انتخاب مسیر را بررسی می‌کنیم.

پس از آشنایی با نحوه مدل‌سازی، جزئیات بیشتری را به مسئله خود اضافه خواهیم نمود. فرض خواهیم کرد تعداد خاصی مسیر وجود دارد و رانندگان علاوه بر انتخاب مسیر بر اساس زمان حرکت مسیر، می‌توانند سایر پارامترهای موجود را نیز در تصمیم‌گیری خود دخالت دهند. برای حل این مساله یک راهکار ترکیبی با استفاده از شبکه عصبی و منطق فازی ارائه خواهیم نمود.

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، در این مسئله فرض خواهیم کرد رانندگان مسیر را تنها بر اساس یک پارامتر مثلاً طول مسیر یا زمان حرکت در مسیر انتخاب می‌نمایند. قبل از هر کار مسئله را دقیقاً تعریف می‌نماییم: راننده‌ای می‌خواهد از نقطه مبدا¹ S به نقطه مقصد² D برود. فرض کنید دو مسیر برای رسیدن به نقطه D وجود دارد که آنها را A و B می‌نامیم. ممکن است این دو مسیر، مانند شکل 13-5 در برخی قسمت‌ها با هم اشتراک داشته باشند. راننده مسیر را بر اساس زمان مسافرت انتخاب می‌نماید.



شکل 13-5: دو مسیر متفاوت برای رسیدن از مبدا به مقصد

¹ Source

² Destination

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، زمان حرکت در مسیر یک پارامتر فازی است که می‌تواند به صورتهای مختلفی تفسیر شود:

- استفاده از مقادیری مانند: کوتاه، متوسط، طولانی، و به شکل ترکیبی مانند: تقریباً کوتاه، خیلی طولانی، ...
 - استفاده از مقادیر عددی مانند: تقریباً 20 دقیقه، بیشتر از یک ساعت، ...
 - استفاده از مواردی مانند: طولانی‌تر از مسیر A، مساوی با مسیر C، ...
- در این مساله قصد داریم تا دو مسیر را بررسی کنیم. زمان مسیر A را با TA و زمان مسیر B را با TB نشان می‌دهیم. در مقایسه دو مسیر، یکی از حالات زیر پیش خواهد آمد:
- زمان حرکت در مسیر A خیلی بیشتر از زمان حرکت در مسیر B است: $MGTB$
 - زمان حرکت در مسیر A بیشتر از زمان حرکت در مسیر B است: GTB
 - زمان حرکت در مسیر A برابر با زمان حرکت در مسیر B است: TB
 - زمان حرکت در مسیر A کمتر از زمان حرکت در مسیر B است: LTB
 - زمان حرکت در مسیر A خیلی کمتر از زمان حرکت در مسیر B است: $MLTB$

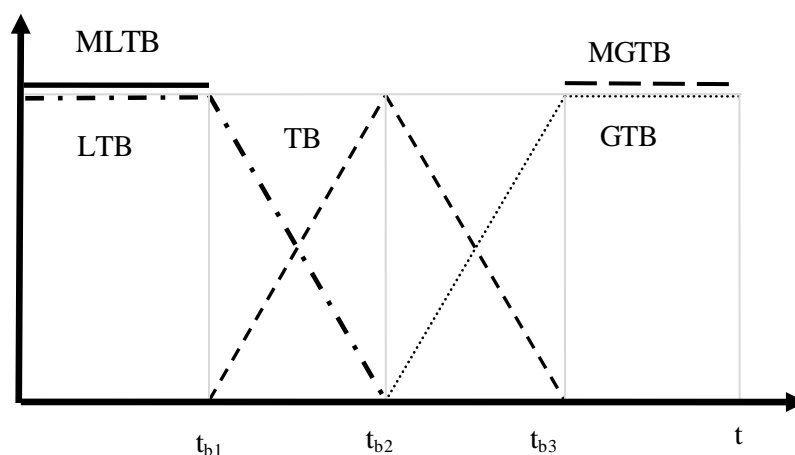
فاکتور دیگری که اهمیت بسیار زیادی در حصول نتیجه مناسب دارد، نحوه توزیع در شکل مقادیر فازی (عمدتاً مثلثی یا دوزنقه‌ای) است. شکل 13-6 حالات پیش‌آمده و نحوه تعریف مقادیر زمان حرکت مسیر A در مقام مقایسه با مسیر B را نشان می‌دهد. برای محاسبه میزان عضویت هر یک از مقادیر ذکرشده، می‌توان از فرمولهای زیر استفاده کرد:

$$\mu_{MLTB} = \begin{cases} 1 & t < t_{b1} \\ 0 & t > t_{b1} \end{cases}$$

$$\mu_{LTB} = \begin{cases} 1 - \mu_{TB}(t) & t \geq t_{b1} \\ 1 & t \leq t_{b1} \end{cases}$$

$$\mu_{GTB} = \begin{cases} 1 - \mu_{TB}(t) & t \leq t_{b3} \\ 1 & t \geq t_{b3} \end{cases}$$

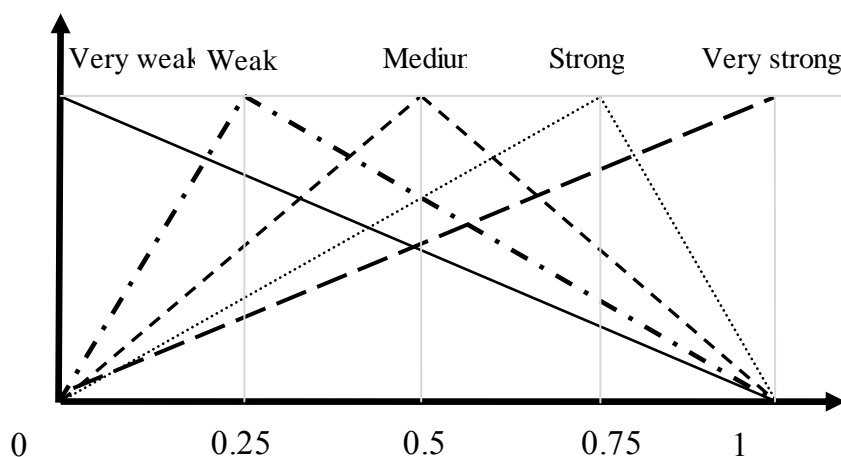
$$\mu_{MGTB} = \begin{cases} 0 & t < t_{b3} \\ 1 & t > t_{b3} \end{cases}$$



شکل 13-6: بررسی حالت‌های پیش‌آمده در مقایسه زمان دو مسیر با یکدیگر

براساس تفاوت موجود میان مسیرها، یک مسیر بر مسیر دیگر ترجیح داده می‌شود که البته میزان برتری یک مسیر، خود یک مقدار گنگ و غیردقیق می‌باشد.

به عنوان مثال می‌توان از این عبارات استفاده کرد: «راننده X مسیر A را به شدت بر مسیر B ترجیح می‌دهد.» یا «از نظر راننده Y، مسیر A و B فرقی ندارند.» بنابراین این مقادیر را نیز می‌توان به شکل متغیرهای فازی نشان داد. برای متغیر میزان برتری می‌توان مقادیر: خیلی قوی، قوی، متوسط، کم و خیلی کم را در نظر گرفت که در شکل 7-13 نشان داده شده‌اند.



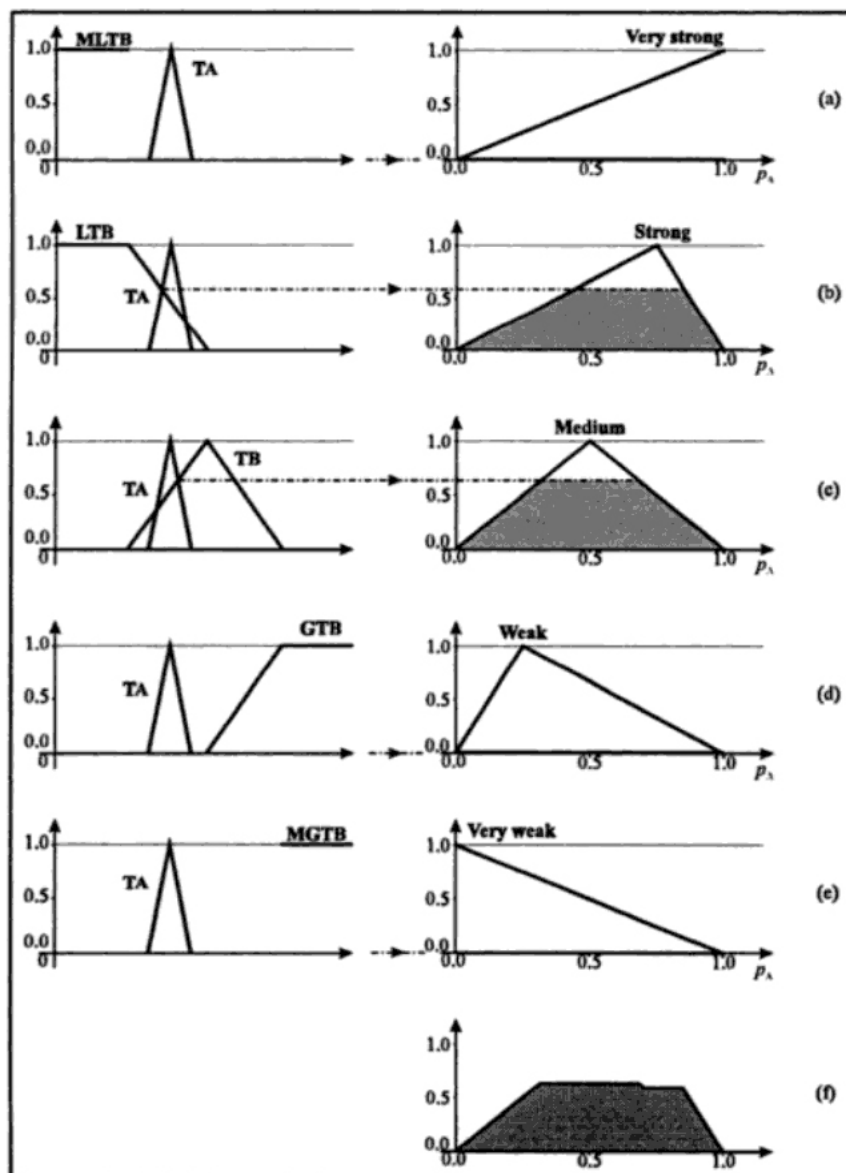
شکل 7-13: متغیر فازی نشان‌دهنده میزان برتری

اگر PA و PB را میزان برتری یا ترجیح مسیرهای A و B بنامیم، قوانین بیان شده در شکل 8-13 می‌تواند برای میزان برتری مسیرها مورد استفاده قرار بگیرد. اگر از چند پارامتر برای تصمیم‌گیری استفاده شود، هر راننده براساس ویژگیهای خود و میزان اهمیت هر یک از پارامترها، میزان برتری را مشخص می‌نماید.

If $TA=MLTB$	then	$PA=VERY\ STRONG$
If $TA=LTB$	then	$PA=STRONG$
If $TA=TB$	then	$PA=MEDIUM$
If $TA=GTB$	then	$PA=WEAK$
If $TA=MGTB$	then	$PA=VERY\ WEAK$

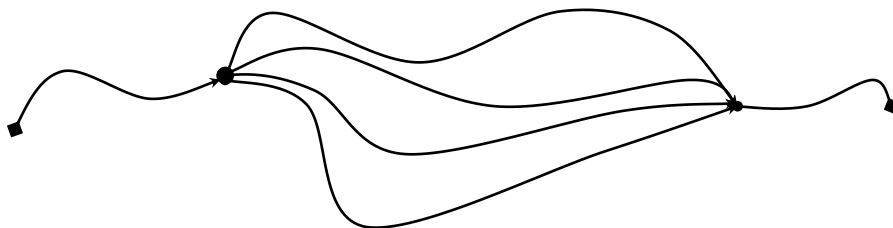
شکل 8-13: میزان برتری (ترجیح) مسیرها نسبت به یکدیگر

شکل 9-13 نحوه انتخاب مسیر با استفاده از متغیرهای فازی معرفی شده را نشان می‌دهد.



شکل 9-13: انتخاب مسیر با توجه به متغیرهای فازی

در ادامه کار، مسئله مطرح شده را با جزئیات بیشتری بررسی می‌کنیم. فرض می‌نماییم که تعداد زیادی مسیر بین مبدا و مقصد وجود دارند (شکل 10-13) و هر مسیر علاوه بر ویژگی زمان حرکت، می‌تواند شامل هر یک از ویژگیهای ذکر شده در مقدمه نیز باشد.



شکل 10-13: مسیر شکل 13-5 با پیچیدگی بیشتر

برای حل این مساله می‌توان به چند روش عمل نمود. اولین و ساده‌ترین راه حل تعریف یک متغیر خروجی به نام سودمندی مسیر می‌باشد که نشان‌دهنده میزان کارایی مسیر است. متغیر سودمندی مسیر می‌تواند مقادیر عالی، خوب، متوسط، نه‌چندان بد، بد و خیلی بد را داشته باشد. برای تمام مسیرهای موجود، سودمندی مسیر محاسبه می‌شود تا در نهایت، مسیری با بالاترین سودمندی انتخاب گردد. مثلاً اگر سه پارامتر: زمان حرکت در مسیر، تعداد چراغهای قرمز و تعداد فروشگاههای موجود در مسیر را در نظر بگیریم، برای این پارامترها می‌توان قواعد زیر را نوشت:

IF TT = short and TLC = low and MC = high Then Utility = very high

IF TT = Average and TLC = high and MC = average Then utility = Not Bad

IF TT = Long and TLC = High and MC = Low Then Utility = Very Bad

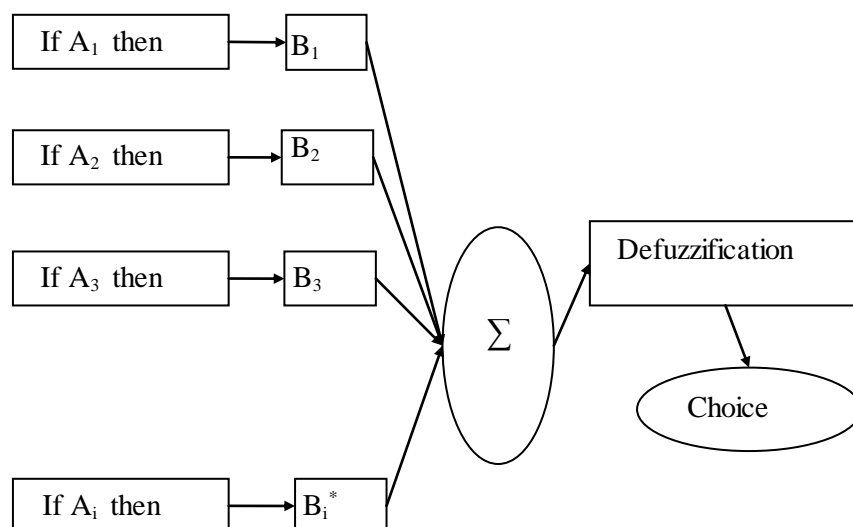
.....

در اینجا تنها تعدادی از قوانین برای مثال ذکر شده است. در نهایت، پس از اینکه سودمندی تمامی مسیرها را با استفاده از قوانین بالا محاسبه کردیم، مسیری با بیشترین سودمندی انتخاب می‌گردد. در صورتی که تعداد متغیرهای ورودی کم باشد محاسبه قوانین و روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی امکان‌پذیر می‌باشد. اما با افزایش تعداد متغیرها، به‌دست آوردن این قوانین بسیار پیچیده و مشکل خواهد شد. قوانین ذکر شده برای تمام رانندگان و به صورت کلی بیان شده‌اند. ممکن است راننده‌ای به طول مسیر اهمیت بیشتری بدهد، اما راننده دیگری برای تعداد فروشگاههای مسیر خود، اهمیت بیشتری قائل باشد. به

عبارت دیگر، هر یک از متغیرها برای هر یک از رانندگان اهمیتهای متفاوتی دارند و باید با وزن خاصی مورد بررسی قرار بگیرند. برای انجام این کار یک ساختار ترکیبی استفاده می‌شود که از شبکه‌های عصبی سود می‌برد.

اولین مرحله، آموزش شبکه عصبی با توجه به مدل رانندگی هر راننده است. برای آموزش شبکه از یک روش با سرپرست استفاده می‌شود. ابتدا راننده باید سوالاتی را درباره نحوه رفتار و معیارهای انتخاب مسیر در شرایط مختلف، براساس قوانین موجود پاسخ دهد. از این داده‌ها برای آموزش شبکه عصبی استفاده می‌شود که در حقیقت وزنهای هر پارامتر را مشخص می‌کند. شبکه عصبی، داده‌ها را دریافت نموده و وزن هر یک از پارامترها را برای هر راننده مشخص می‌نماید.

پس از آموزش شبکه در هر تصمیم‌گیری، ابتدا قوانین براساس میزان اهمیت هر پارامتر و وزنهای نتیجه‌شده تغییر نموده، سپس از روشهای معمول برای حل مسئله موجود استفاده می‌گردد. شکل 11-13 نشان‌دهنده نحوه انجام این کار می‌باشد.



شکل 11-13: ساختار شبکه نروفازی برای انتخاب مسیر

13-5: سیستم‌های هوشمند ترابری

سیستم‌های هوشمند ترابری (ITS)^۱، سیستم‌هایی هستند که از تمامی انواع فناوریهای میان‌رشته‌ای برای بهبود عملکرد سیستم‌های حمل و نقل بهره می‌گیرند.

در صنعت خودروسازی از کامپیوترها در سیستم‌های هدایت‌کننده اتومبیل، کاهش جراحات و جلوگیری از تصادفات استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای ITS فراهم نمودن یک سیستم کمکی برای کنترل برخی مولفه‌های اتومبیل مانند سرعت است که به نام سیستم Cruise Control شناخته می‌شود. این سیستم، سرعت اتومبیل را در عدد دلخواهی که توسط راننده تعیین می‌شود، ثابت نگاه می‌دارد. نوع پیشرفته دیگری از این سیستم نیز وجود دارد که علاوه بر تثبیت سرعت اتومبیل، آن را به گونه‌ای تنظیم می‌کند که فاصله با اتومبیل‌های موجود در خط حرکت^۲ به اندازه مناسبی باشد.

برای مشخص نمودن فاصله، معمولاً از یک سیستم راداری یا حسگر لیزری به همراه یک پردازشگر سیگنال و کنترل‌کننده سرعت استفاده می‌شود. اگر اتومبیل مقابل سرعت خود را کم کند یا مانعی در مسیر تشخیص داده شود، دستورات لازم به موتور اتومبیل و سیستم ترمز (توسط پردازنده) ارسال می‌شود تا پس از این که موانع مقابل اتومبیل از بین رفتند، پردازشگر سرعت اتومبیل را به مقدار تنظیم‌شده اولیه باز گرداند. این روش می‌تواند شرایط ترافیکی را به میزان قابل توجهی بهبود دهد. این سیستم بر روی برخی اتومبیل‌های لوکس شرکت‌های Lexus (Distronic)، Mercedes، Jaguar، Nissan، Toyota، BMW و همچنین برخی اتومبیل‌های سنگین نظیر VOLVO FH16 نصب شده است.

محدودیت اصلی این سیستم، عدم توانایی کنترل اتومبیل در سرعت‌های پایین (کمتر از 40 Km/h) است. به عنوان مثال اگر اتومبیل جلویی توقف نماید، اتومبیل مجهز شده به این سیستم باید بتواند در فاصله امن از آن (با روشی غیر از این سیستم) متوقف شود.

^۱ Intelligent Transportation Systems (ITS)

^۲ Lane

تکنیکهای زیادی در پیاده‌سازی این سیستمها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روشهای مبتنی بر تجزیه و تحلیل‌های ریاضی در برخی مواقع منجر به نتایج مناسبی می‌شوند، اما طراحی پیچیده و هزینه محاسباتی بالایی دارند. از طرف دیگر، چون پارامترهای بسیاری در حرکت اتومبیلها تاثیر دارند، سیستم مسئله عمدتاً غیرخطی می‌باشد و نمی‌تواند به طور کامل با استفاده از فرمولهای ریاضی مدل گردد. روش دیگر، استفاده از سیستمهای هوش مصنوعی با تاکید بر سیستمهای فازی است.

توقف و حرکت¹ یکی از خسته‌کننده‌ترین و شایع‌ترین اعمالی است که رانندگان در رانندگی درون‌شهری مجبور به انجام آن هستند. سیستم هوشمند توقف و حرکت برای خودکار نمودن این عمل ایجاد شده است. ترکیب سیستم کنترل سرعت تطبیقی و توقف و حرکت باعث افزایش راحتی در رانندگی، روان‌شدن سرعت ترافیک و خالی‌شدن سریعتر صفها می‌گردد.

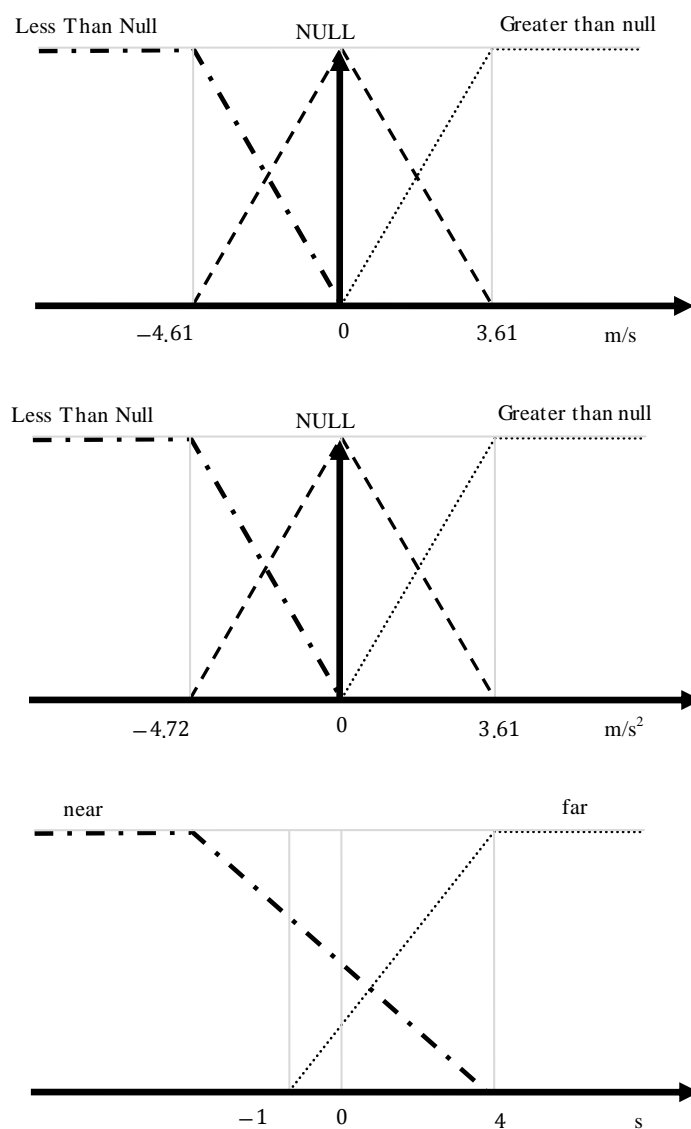
در این بخش طراحی یک سیستم ساده برای کنترل سرعت را توضیح خواهیم داد و در قسمت بعد، این سیستم را کامل‌تر خواهیم کرد.

این سیستم داده‌های لازم را از طریق حسگرهای موجود دریافت می‌نماید. داده‌های دریافتی شامل سرعت لحظه‌ای اتومبیل و فاصله زمانی بین اندازه‌گیری سرعت می‌باشد. با استفاده از داده‌های دریافتی می‌توان متغیرهای زیر را تعریف نمود: اختلاف سرعت (SE)، سرعت فعلی (CS) و سرعت از قبل تعیین‌شده (PS). شتاب نیز از فرمول زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$A_t = \frac{CS_t - CS_{t-1}}{\Delta t}$$

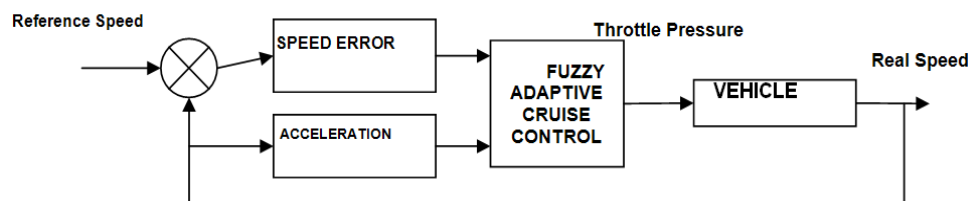
شکل 12-13 بیانگر متغیرهای سرعت، شتاب و تفاوت زمانی در حالت فازی می‌باشد.

¹ Stop & Go



شکل 12-13: نمودارهای نحوه پراکندگی متغیر سرعت (تصویر بالا)، شتاب (تصویر وسط) و مسافت زمانی (تصویر پایین)

خروجی کنترل کننده فازی سیگنالی مانند پدال گاز اتومبیل است (ولتاژ الکترونیکی) که به واحد کامپیوتر مرکزی اتومبیل ارسال می شود. شکل 13-13 شمای کلی این کنترل کننده فازی را نشان می دهد:



شکل 13-13: شمای کلی کنترل کننده فازی سرعت اتومبیل

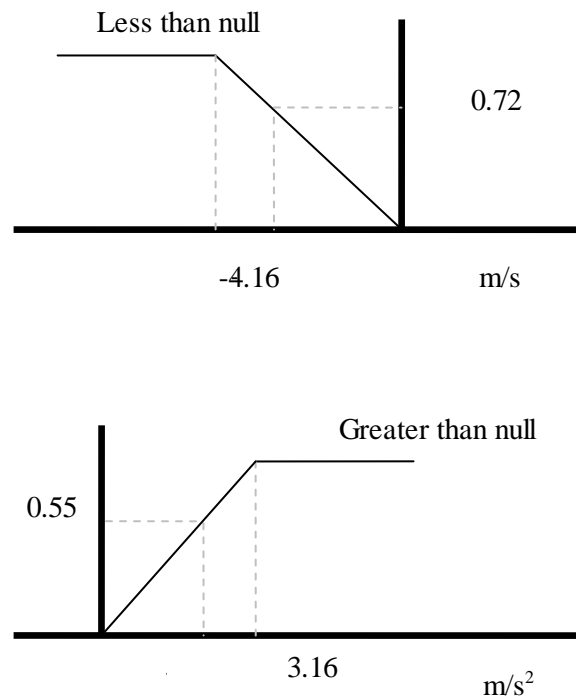
خروجی دارای دو مقدار UP و Down است. UP مشخص می نماید که جریان باید کمتر شود (پدال گاز رها شود) و Down مشخص می نماید که جریان بیشتری (با فشار دادن پدال گاز) باید وارد شود. قوانین فازی موجود برای این سیستم در جدول 13-1 آمده است:

جدول 13-1: قوانین فازی برای کنترل سرعت اتومبیل

R#		Input fuzzy variables	Linguistic modifiers	Linguistic labels		Output fuzzy variable	Linguistic Labels
R1	IF	<i>Speed_Error</i>	GREATER THAN	Null	THEN	<i>Throttle</i>	Up
R2	IF	<i>Speed_Error</i>	LESS THAN	Null	THEN	<i>Throttle</i>	Down
R3	IF	<i>Acceleration</i>	GREATER THAN	Null	THEN	<i>Throttle</i>	Up
R4	IF	<i>Acceleration</i>	LESS THAN	Null	THEN	<i>Throttle</i>	Down

با یک مثال نحوه کار این سیستم را توضیح می دهیم. فرض کنید مقادیر لحظه ای حاصل از سیستم به شرح زیر باشند:

$$SE = -3\text{m/s}, \text{acc} = 2\text{m/s}^2$$



شکل 13-14: مثال برای نمایش عملکرد سیستم کنترل سرعت

حال همانگونه که در شکل 13-14 مشاهده می‌شود، میزان عضویت کمتر از صفر برای مقدار -3 m/s برابر با 0.72 و برای شتاب 2 برابر با 0.55 خواهد بود.

پس از فازی کردن و بررسی شرطهای موجود، شرطهای دوم و سوم اعمال می‌شوند که میزان 0.72 برای افزایش جریان و 0.55 برای کاهش جریان را نشان می‌دهند. حال اگر با استفاده از قانون مرکز جرم، داده‌های فازی به داده‌های عددی تبدیل شود، خواهیم داشت:

$$X_{out} = \frac{0.72 * up + 0.55 * down}{0.72 + 0.55} = \frac{0.72 * 1 + 0.55 * -1}{0.72 + 0.55} = 0.11$$

0.11 به این معنا است که کنترل‌کننده فازی افزایش به میزان 0.11 در جریان پدال

گاز را توصیه می‌کند.

پس از آشنایی با کلیات سیستم، اندکی آن را بسط خواهیم داد. این سیستم تنها قادر به حفظ سرعت اتومبیل در یک محدوده خاص می‌باشد. همان‌گونه که در مقدمه توضیح داده شد، هدف ما بسط سیستم به‌گونه‌ای است که فاصله مناسب را با اتومبیل مقابل خود حفظ نماید. فاصله امن برای اتومبیل وابسته به سرعت اتومبیل است. یعنی هرچه سرعت اتومبیل بیشتر شود، باید فاصله بین اتومبیل و اتومبیل مقابل بیشتر بوده تا سیستم ترمزگیری در مواقع لزوم قادر به کنترل اتومبیل باشد.

برای اضافه‌نمودن تغییرات ذکرشده، نیاز به تعریف متغیرهای جدید و تغییر قوانین موجود داریم. بنابراین با تعریف متغیرهای جدید شروع می‌نماییم:

- **فاصله زمانی فعلی:** این متغیر برابر است با زمانی که طول می‌کشد تا اتومبیل به مکان فعلی اتومبیل مقابل خود برسد که از معادله زیر به دست می‌آید:

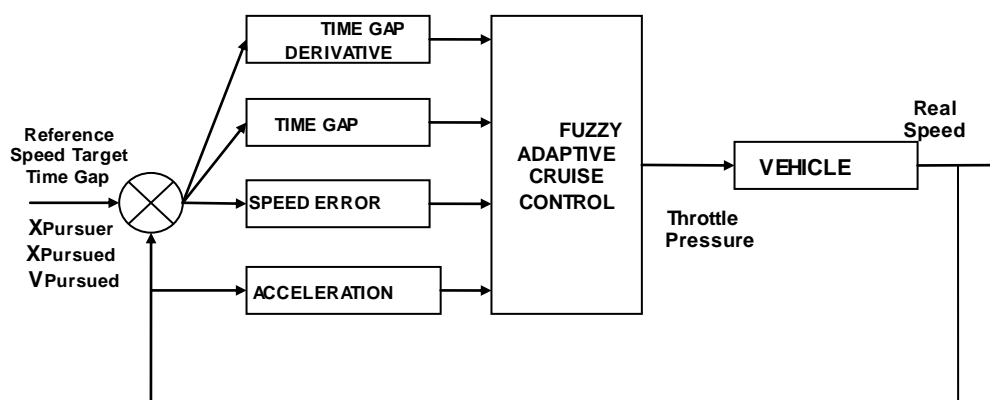
$$TG_{\text{current}} = \frac{X_{\text{pursued}} - X_{\text{Pursuer}}}{V_{\text{Pursuer}}}$$

- **فاصله زمانی هدف:** نشان‌دهنده فاصله زمانی است که سیستم کنترل سرعت برای حفظ آن برنامه‌ریزی شده است. این زمان توسط کاربر تنظیم می‌گردد.
- **خطای فاصله زمانی:** مقدار این متغیر، مشخص‌کننده میزان خطای میان فاصله زمانی هدف و فاصله زمانی فعلی می‌باشد.
- **مشتق فاصله زمانی:** این متغیر تغییرات فاصله زمانی در گذر زمان را مشخص می‌نماید. مقدار این متغیر را می‌توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود:

$$TG_{\text{Derivative}(i)} = \frac{TG_{\text{Current}(i)} - TG_{\text{current}(i-4)}}{4\Delta t}$$

برای به دست آوردن متغیرهای جدید نیاز به نصب حسگرهای جدیدی برای محاسبه فاصله و فاصله زمانی خواهیم داشت. این حسگر می‌تواند شبکه‌ای از اتومبیلها (WLAN) یا یک پویسگر لیزری ساده باشد.

حالت بهبودیافته کنترل‌کننده فازی شکل 13-13، در شکل 13-15 دیده می‌شود. متغیر زبانی اول می‌تواند یکی از مقادیر نزدیک و دور را داشته باشد و متغیر زبانی دوم تنها مقدار منفی را به خود می‌گیرد. تابع عضویت این دو متغیر در جدول 13-2 آمده است. آخرین مولفه‌ها برای تکمیل سیستم کنترل سرعت تطبیقی، قوانین فازی هستند که به مجموعه قوانین قبلی اضافه می‌گردند.



شکل 13-15: حالت بهبودیافته کنترل‌کننده فازی برای کنترل سرعت

جدول 13-2: متغیرهای زبانی کنترل‌کننده فازی

		Input fuzzy variables	Linguistic modifiers	Linguistic labels		Output fuzzy variable	Linguistic labels
R5	IF	Speed_Error	GREATER THAN	Null	THEN	Throttle	Up
R6	IF	Speed_Error	LESS THAN	Null			
	AND	Time_Gap_Error	GREATER THAN	Near	THEN	Throttle	Down
R7	IF	Acceleration	GREATER THAN	Null	THEN	Throttle	Up
R8	IF	Acceleration	LESS THAN	Null			
	AND	Time_Gap_Error		Far	THEN	Throttle	Down
R9	IF	Time_Gap_Error		Near			
	AND	d_Time_Gap		Negative	THEN	Accelerator	Up

13-6 مهندسی ترافیک، GPS¹ و منطق فازی

GPS (سیستم موقعیت‌یاب جهانی) از یک شبکه 24 ماهواره‌ای تشکیل شده است. هدف اصلی و اولیه از طراحی GPS، اهداف نظامی بود، اما این سیستم از 1980 به بعد برای استفاده‌های غیر نظامی نیز در دسترس قرار گرفت. ماهواره‌های GPS در تمام شرایط به صورت 24 ساعته در تمام طول شبانه‌روز و در همه نقاط دنیا قابل استفاده می‌باشند و هیچ‌گونه بهایی بابت خدمات آنها اخذ نمی‌شود.



شکل 13-16: ماهواره‌های GPS

ماهواره‌های GPS در هر شبانه‌روز دو بار در یک مدار تعیین‌شده دور زمین می‌گردند و سیگنال‌های حاوی اطلاعات را به زمین می‌فرستند. سرعت حرکت آنها ثابت بوده و برابر با 7000 مایل در ساعت می‌باشد. مدار حرکتی آنان حدود 12000 مایلی سطح زمین قرار گرفته است. دستگاه GPS براساس مقایسه زمان ارسال و دریافت سیگنال توسط یک ماهواره کار می‌کند و با بررسی زمانی مشخص می‌کند که گیرنده GPS در چه مسافتی از ماهواره قرار دارد. گیرنده GPS با اندازه‌گیری مسافت از طریق چند ماهواره می‌تواند موقعیت کاربر را به‌طور بسیار دقیق مشخص نماید. یک گیرنده GPS باید سیگنال‌های

¹ Global Positioning System (GPS)

حداقل سه ماهواره را برای تعیین دقیق دو موقعیت (طول و عرض جغرافیایی) یک شیء دریافت نماید. سیگنالهای دریافتی از چهار ماهواره یا بیشتر، سه موقعیت (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع) را نشان می‌دهند. GPS را می‌توان برای اندازه‌گیری سرعت، جهت‌یابی، مسافرت‌های طولانی، جستجوی یک مقصد خاص (پمپ‌بنزین، مرکز درمانی، ...)، زمان طلوع و غروب خورشید و ... استفاده کرد.

در حال حاضر یکی از بزرگترین مشکلات زندگی در شهرهای بزرگ، افزایش روزافزون ترافیک در خیابانها و بزرگراهها است. سالانه صدها ساعت از وقت رانندگان در ترافیک تلف می‌شود. به همین دلیل استفاده از فناوری و تجهیزات الکترونیکی برای کنترل و روان‌سازی ترافیک، حائز اهمیت بسیاری می‌باشد. سیستمهایی که وسایل نقلیه را در خیابان، راهنمایی کنند و به مقاصد مورد نظر هدایت نمایند از اتلاف وقت رانندگان و مسافری و استهلاک وسایل نقلیه جلوگیری کرده، به سریع‌تر رساندن کالاهای مورد نیاز کمک می‌کنند.

در این امر، کارخانه‌های اتومبیل‌سازی و شرکت‌های الکترونیکی پیشقدم بوده و ابزارهای مختلفی را به خدمت گرفته‌اند تا ضمن هدایت بهینه اتومبیلها به مقاصد خود، اطلاعات گوناگونی مانند محل پمپ بنزینها، پارکینگها و تعمیرگاهها، سرعتهای مجاز و غیرمجاز، ... را در اختیار رانندگان قرار بدهند. دولتها نیز در این خصوص سرمایه‌گذاری زیادی نموده‌اند. دو سیستم GIS و GPS نقش اساسی در تعیین موقعیت، اطلاع‌رسانی، مدیریت ترابری و کنترل ترافیک داشته تا در کنار دیگر وسایل و ابزارهای تکمیلی، مشکلات زیادی را در امور ترابری حل نمایند.

به نظر می‌رسد با استفاده از ابزارهای پیشرفته‌ای چون GPS می‌توان در کنترل مصرف سوخت، حل معضل ترافیک، سنجیدن سرعت خودروها، ساعات کار رانندگان، زمان شروع و پایان حرکت خودروها، نقاط توقف و زمان آنها در مسیر سفر، گامی موثر برداشت. ضمناً در مواقع لزوم، این دستگاه می‌تواند به عنوان جعبه سیاه خودرو مورد استفاده قرار بگیرد.

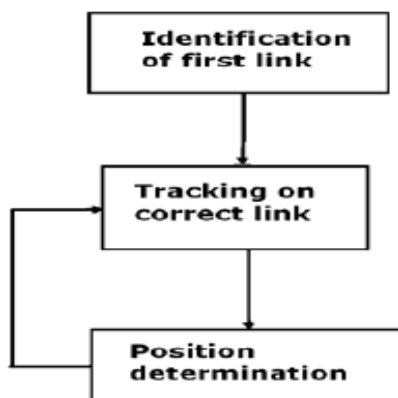
بر طبق اظهارات محققان، سیستم‌های مبتنی بر GPS قادرند تنها با اختلاف چند متر محل دقیق خودرو را شناسایی کرده، سرعت آن را نیز محاسبه نمایند. اما برای استفاده از چنین اطلاعاتی باید آنها را به طریق درستی نمایش داد. نمایش ایده‌آل این اطلاعات به

گونه‌ای که در کنترل ترافیک مفید باشد، نمایش آنها بر روی نقشه‌هایی است که اطلاعات ساختاری شبکه خیابانها یا جاده‌های موردنظر را به خوبی نشان می‌دهد تا بتوان از آنها برای تعیین مسیر استفاده کرد. امروزه نقشه‌های دیجیتال این امکان را فراهم آورده‌اند.

اما متأسفانه نقشه‌ها و اطلاعات موقعیتی که توسط سیستمهای GPS به دست می‌آیند دارای خطا هستند. یعنی در بسیاری از مواقع موقعیت به‌دست آمده، با لینکهای موجود در نقشه تطابق ندارد. مشخص است که در چنین مواقعی، باید موقعیت به‌دست آمده را با لینک درست آن بر روی نقشه match کرد. الگوریتمهای متعددی که برای این کار مورد استفاده قرار می‌گیرند، map matching نامیده می‌شوند.

همان‌طور که از تعریف بالا برمی‌آید این الگوریتمها با داده‌هایی غیردقیق سروکار دارند. در عمده شبکه‌هایی که دارای تقاطعهای بسیار و مجموعه به‌هم‌فشرده‌ای از راه‌ها هستند یافتن لینک درست فعلی بسیار پیچیده است و تابع متغیرهای بسیاری می‌باشد که عموماً غیردقیق بوده، ماهیتی فازی دارند. اما در یک دید کلی (شکل 13-17)، تمام الگوریتمهای map matching از سه گام اصلی زیر تشکیل شده‌اند:

1. تعیین دقیق لینک فعال (لینکی که وسیله نقلیه در لحظه شروع اجرای الگوریتم، در حال حرکت در آن لینک است)
2. دنبال کردن وسیله نقلیه در آن لینک
3. تعیین موقعیت وسیله نقلیه در آن لینک



شکل 13-17: گامهای اصلی در یک الگوریتم map matching

الگوریتم از اطلاعات تولیدشده توسط GPS (طول و عرض جغرافیایی، اطلاعات سرعت، جهت) استفاده می‌کند. همچنین الگوریتم سابقه طی مسیر وسیله نقلیه را در نظر گرفته و با مقایسه این اطلاعات و اطلاعات جهت (heading) به‌دست‌آمده از GPS، لینک جاری را تعیین می‌کند. سپس مکان درست شیء در این لینک تعیین می‌گردد و در نهایت در هر تقاطع با در نظر گرفتن اطلاعات طول و عرض جغرافیایی به‌دست‌آمده از GPS، لینک بعدی تعیین می‌شود.

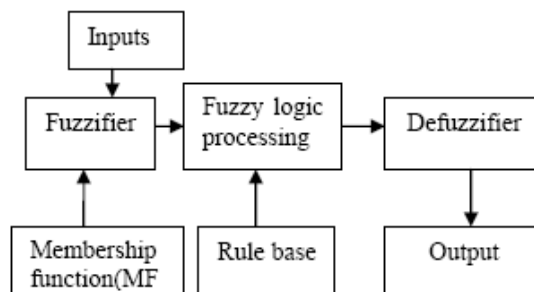
ورودی دیگری که در این الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد، اطلاعات topological شبکه جاده‌ای موردنظر است که برای به‌کارگیری این اطلاعات از نقشه‌های دیجیتال استفاده می‌شود.

برای استفاده از FIS در حل یک مسئله (شکل 13-18)، موارد زیر باید تعیین شوند:

1. ورودیها و خروجیها و فازی‌سازی آنها

2. ساخت rule base

3. غیرفازی‌سازی خروجی

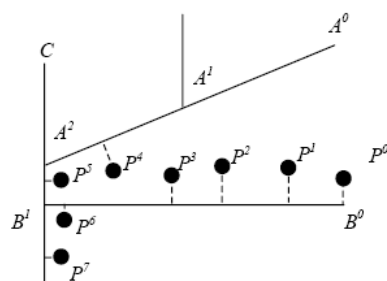


شکل 13-18: مدل کار برای استفاده از Fuzzy Interface System

برای حل مسئله مطرح شده، هر یک از سه مرحله فوق را در الگوریتم map matching بررسی می‌کنیم. گام اول در الگوریتم، تشخیص صحیح یک لینک فعال است که ورودیها و خروجیهای آن به صورت زیر می‌باشند:

- سرعت (Speed): با مقادیر low, zero و high فازی می‌شود.

- تفاوت جهت (Heading Error): با مقادیر small و large فازی می‌شود که بیانگر تفاوت در جهت لینک مورد بررسی و جهت حرکت وسیله نقلیه می‌باشد.
- فاصله عمودی (Perpendicular Distance = PD): بیانگر کمترین فاصله بین نقطه تعیین‌شده توسط GPS و لینک موردنظر است و با مقادیر small و large فازی می‌شود. در شکل 13-19 لینک مربوط به نقاط برای زمانهای مختلف (صرفاً براساس فاصله عمودی آنها) نشان داده شده است.
- Horizontal Dilution Of Precision: خطای HDOP در طول و عرض جغرافیایی به علت هندسه نامناسب ماهواره‌های انتخابی اتفاق می‌افتد. این متغیر با مقادیر good و bad فازی می‌شود.
- خروجی: میزان شباهت لینک مورد نظر را با پاسخ درست نشان می‌دهد و با مقادیر low، average و high فازی می‌شود. این مقادیر بر طبق آنچه در قوانین فازی مسئله آمده است مشخص می‌شوند.



شکل 13-19: تعبیر فاصله عمودی به عنوان متغیر فازی

این نکته لازم به توضیح است که در این بخش، برای fuzzy inferencing از مدل ساگنو یا همان TKS (Takagi, Sugeno & Kang, 1985) استفاده شده است که قواعد آن به فرم کلی زیر می‌باشند:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y)$$

همانطور که از قاعده فوق برمی‌آید، خروجی یک مقدار غیرفازی است که از اعمال یک تابع غیرفازی (عمدتاً چندجمله‌ای) که بر روی مقادیر عضویت ورودیها عمل می‌کند، به دست می‌آید. در این مسئله خروجی را به صورت مقادیر ثابت در نظر گرفته‌ایم که اصطلاحاً گفته می‌شود از zero-order Sugeno fuzzy model استفاده شده است. مقادیری که برای خروجی در نظر گرفته می‌شوند، در زیر نشان داده شده‌اند:

Low: 10 Average: 50 High: 100

حال به ادامه حل مسئله در گام دوم آن که ساختن rule base باشد، می‌پردازیم:

Rule1:

If speed is high and Heading Error is small, then the resemblance, Z, of that link is average.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z = MF1 \times MF2$$

MF1 is the DOM¹ for speed

MF2 is the DOM of the Heading Error

Rule2:

If speed is high and Heading Error is large, then the resemblance, Z, of that link is low.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z = MF1 \times MF2$$

MF1 is the DOM for speed

MF2 is the DOM of the Heading Error

Rule3:

If HDOP is good and PD is short, then the resemblance, Z, of that link is average.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z = MF1 \times MF2$$

¹ Degree Of Membership (DOM)

MF1 is the DOM for HDOP

MF2 is the DOM of the PD

Rule4:

If HDOP is good and PD is long, then the resemblance, Z, of that link is low.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z=MF1 \times MF2$$

MF1 is the DOM for HDOP

MF2 is the DOM of the PD

Rule5:

If Heading Error is small and PD is short, then the resemblance, Z, of that link is high.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z=MF1 \times MF2$$

MF1 is the DOM for Heading Error

MF2 is the DOM of the PD

Rule6:

If Heading Error is large and PD is long, then the resemblance, Z, of that link is low.

و وزن‌ها به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$Z=MF1 \times MF2$$

MF1 is the DOM for Heading Error

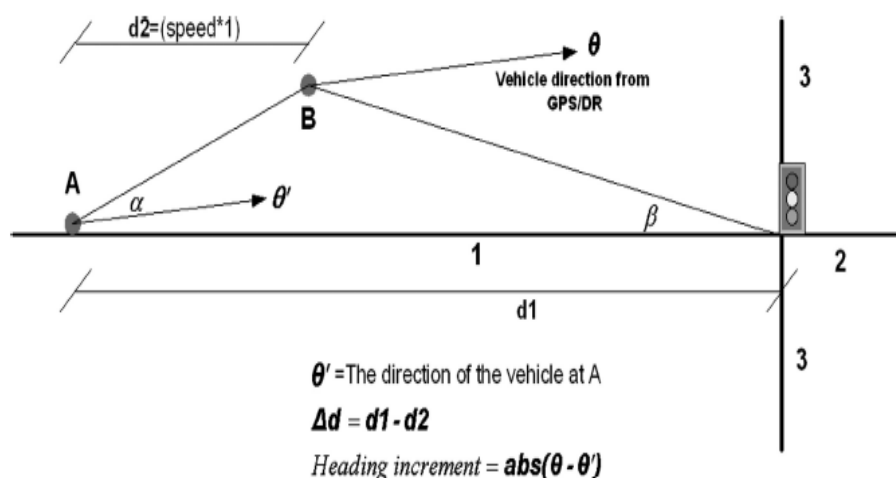
MF2 is the DOM of the PD

دنبال کردن لینک فعلی شامل تعیین درستی لینک فعلی با استفاده از تاریخچه حرکت

وسیله نقلیه تا این لحظه است. در این مرحله ورودیهای سیستم فازی، موارد زیر هستند:

- سرعت وسیله
- میزان تغییر جهت (Heading Increment): در شکل 13-20 با $abs(\theta - \theta')$
- gyro-rate reading: بیانگر نرخ تغییر جهت در B (نقطه در حال تعیین) نشان داده شده است.

- مقدار Δd : از تفاضل $d1$ و $d2$ حاصل می‌شود. مقدار $d1$ بیانگر فاصله مکان آخرین نقطه تعیین‌شده و تقاطع نهایی است و $d2$ فاصله طی‌شده از آن زمان تا زمان فعلی را نشان می‌دهد.
- مقدار زاویه α



شکل 13-20: متغیرهای فازی در مرحله دنبال کردن لینک فعلی

خروجی این قسمت resemblance نسبت به لینک match شده قبلی است که مقادیر آن طبق rule ها به دست می‌آیند، یعنی امکان باقی‌ماندن وسیله نقلیه در لینک قبلی یا چرخیدن آن بررسی می‌شود. Rule base ها در این مرحله با توجه به متغیرهای ورودی مطابق زیر نوشته می‌شوند:

If ($\Delta\theta$ is small) and (α is below 90°) and (β is below 90°) then (L2 is high)
 If ($\Delta\theta$ is small) and (Δd is positive) and (α is above 90°) then (L2 is low)
 If ($\Delta\theta$ is small) and (Δd is positive) and (β is above 90°) then (L2 is low)
 If (HI is small) and (α is below 90°) and (β is below 90°) then (L2 is high)
 If (HI is small) and (Δd is positive) and (α is above 90°) then (L2 is low)
 If (HI is small) and (Δd is positive) and (β is above 90°) then (L2 is low)
 If ($\Delta\theta$ is high) and (α is below 90°) and (β is below 90°) then (L2 is low)
 If (HI is large) and (α is below 90°) and (β is below 90°) then (L2 is low)
 If (HDOP is good) and (v is zero) then (L2 is high)
 If (HDOP is good) and (Δd is negative) then (L2 is average)

If (HDOP is good) and (Δd is positive) then (L2 is low)

If (v is high) and (HI is small) then (L2 is average)

If (HDOP is good) and (v is high) and (HI is 180°) and ($\Delta\theta$ is high) then (L2 is high)

توجه شود که وزن‌ها در این قوانین (مانند مرحله قبل) از حاصل ضرب درجات عضویت

ورودی‌های هر قانون در یکدیگر به دست می‌آیند.

در آخرین گام، باید موقعیت وسیله نقلیه را در لینک تعیین شده مشخص کرد. یکی از

ساده‌ترین راه‌ها برای این کار، تصویرکردن نقطه مشخص شده توسط GPS روی آن لینک

در نقشه (مطابق شکل 13-21) است.



شکل 13-21: مشخص کردن موقعیت وسیله نقلیه در لینک تعیین شده

13-7: سرمایه‌گذاری در ترابری

Teng و Tzeng یک پروژه سرمایه‌گذاری چندمنظوره در صنعت ترابری را با استفاده از

منطق فازی بررسی کرده‌اند. Smith نیز از منطق فازی برای بررسی توجیه اقتصادی ایجاد

یک خط ریلی و انتخاب بهترین مسیر برای آن، استفاده کرده است. پارامترهای متعددی در

این بررسی‌ها مدنظر قرار می‌گیرند:

• جذابیتها و عوامل تولیدی (مراکز فروشگاهی و تجاری، مدارس، بیمارستانها، مراکز

سرگرمی، ...)

- روند تغییر جمعیت (رشد یا کاهش جمعیت در یک منطقه)
- مرکزیت محل احداث بنا
- هزینه خرید مکانها و زمینها
- هزینه‌های نگهداری و جانبی (هزینه‌های لازم برای ارائه سرویس)
- محدوده جذب
- تعداد افرادی که با اتوبوس رفت و آمد می‌کنند
- قابلیت تعویض اتوبوس / قطار

تمام پارامترهای بالا به صورت متغیرهای فازی با مقادیر کم، متوسط و زیاد تعریف شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Chiu با استفاده از منطق فازی، سیستم کنترل سیگنال تطبیقی برای یک تقاطع را بررسی کرده است. این سیستم شبکه کوچکی از تقاطعها را در نظر می‌گیرد و ترافیک را در آنها کنترل می‌کند. تفاوت این سیستم با سیستم معرفی شده در ابتدای فصل، در این است که این سیستم تنها برای جلوگیری از ازدحام و اشباع اتومبیلها در تقاطعها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

13-8: استفاده از منطق فازی در ترابری هوایی

یکی از جالب‌ترین کاربردهای منطق فازی در ترابری هوایی، پیاده‌سازی سیستم هواپیمای خود-خلبان¹ است. همچنین، اکثر هواپیماهای جدید به سیستم کنترل فرود² مجهز هستند که باعث تسهیل فرود هواپیما روی باند می‌شود. این سیستم نیز می‌تواند با منطق فازی پیاده‌سازی شود.

Larkin از تعدادی خلبان ماهر در ایجاد قوانین فازی (125 قانون) برای سیستم خود استفاده نموده است. خلبانان به سوالات خاصی در مورد فرود آوردن هواپیما در سرعت و

¹ Auto pilot

² Instrumental Landing System (ILS)

ارتفاع مشخص پاسخ دادند. تمام سوالات به این فرم بودند که مثلاً اگر سرعت فعلی هواپیما حدود x باشد و سرعت هوا حدود 1 y/mh باشد، برای زاویه فرود هواپیما در حدود Z سرعت موتور و زاویه سکان را چگونه تغییر می‌دهید؟

علاوه بر موارد فوق، باید به سیستمهای کنترل ترافیک هواپیما نیز اشاره کرد که در سالهای اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این سیستمها، اطلاعات هواسنجی مانند جهت باد و سرعت آن، تاثیر مستقیمی بر ظرفیت هواپیماها دارند.

چون اطلاعات هواشناسی به صورت دقیق قابل بیان نیستند و تنها تخمینی از آن در درازمدت ممکن است، لذا از منطق فازی برای مدل سازی این سیستمها استفاده می‌شود.

در برخی از اوقات ظرفیت خطوط هوایی کمتر از تعداد پروازهای درخواست شده است. در این گونه مواقع، فرودگاه اجازه بلندشدن از باند را به هواپیما نمی‌دهد. بنابراین، مشکل در انتخاب پروازی است که باید انجام بگیرد. پروازهای مختلف از جهاتی مانند تعداد مسافر، نوع پرواز، محموله و ... دارای اهمیت متفاوتی هستند. Babic و Teodorovic سیستم مدیریت پروازها را با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار دادند. آنها اندازه هواپیما و تاخیر آن را برای سیستم فازی خود استفاده کردند. اندازه هواپیما به عنوان یک متغیر فازی با مقادیر بزرگ، متوسط و کوچک و تاخیر زمانی پرواز نیز با سه مقدار کم، متوسط و زیاد بیان شده‌اند. هواپیماهای بزرگ دارای اولویت¹ بالاتری هستند و با گذشت زمان (افزایش تاخیر) اولویت پروازها بالاتر می‌رود.

خروجی سیستم، یک متغیر فازی است که نشان‌دهنده اولویت هواپیما برای پرواز است. قوانین در این سیستم عمدتاً به فرم زیر هستند:

*If the aircraft is LITTLE and the delay is LITTLE,
Then preference is MEDIUM.*

مساله انتخاب مسیر در ترافیک هوایی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. تفاوت اساسی این مورد با انتخاب مسیر که در قسمتهای قبل ذکر شد، در نوع پارامترهایی است که روی مساله تاثیر می‌گذارند. Teodorovic و Kalic ساده‌ترین حالت را مورد بررسی قرار دادند که

¹ Priority

یک مسافر باید از بین دو مسیر (برای رفتن از مبدا به مقصد) یکی را انتخاب نماید. آنها فرض کردند که فرد مسافر، مسیر را با توجه به مدت زمان پرواز و فراوانی پروازهای یک مسیر انتخاب می‌نماید. پس dF را برای تفاوت زمانی و dT را برای تفاوت تعداد پروازها در نظر می‌گیرند. خروجی یک متغیر فازی است که نشان‌دهنده اولویت یک مسیر بر مسیر دیگر می‌باشد. قوانین در این سیستم به شکل زیر بیان می‌شوند:

If $dT = \text{very big negative}$ and $dF = \text{any}$, Then $P = \text{very very big}$.

منطق فازی در طراحی و مدل‌سازی شبکه‌های ترابری هوایی، در موارد متعددی مورد استفاده قرار گرفته است.

13-9: استفاده از منطق فازی در ترابری آبی

حمل و نقل آبی نیز از منطق فازی در حل برخی مسائل خود بهره جسته است. به عنوان یک مثال می‌توان از پیاده‌سازی فازی نحوه تبادل کشتیهای باری بین بندر Pancevo و Belgrade نام برد. در این سیستم، از زمان انتظار و تعداد کشتیهای باری موجود در یک بندر، برای انتخاب تعداد کشتی گسیل‌شده به بندر دیگر استفاده شده است. قوانین در این سیستم به شکل زیر می‌باشند:

If waiting time to unload in Pancevo is LARGE and waiting time to unload in Belgrade is LARGE or AVERAGE, Then the number of barges left in Pancevo is AVERAGE.

If the number of empty barges in Belgrade is LARGE and the number of empty barges in Pancevo is ANY, Then the number picked up in Belgrade is LARGE.

13-10: تجزیه و تحلیل تصادفات و پیشگیری از آن

به دنبال رشد سریع تولید اتومبیلها و تقاضای مردم برای استفاده از اتومبیلهای شخصی و همچنین توسعه اندک معابر عبور و مرور، شاهد پیشرفت آمار تصادفات در معابر هستیم.

در زمینه تجزیه و تحلیل و همچنین جلوگیری از تصادفات، می‌توان از الگوریتمهای فازی استفاده کرد. مثلاً (Akiyama and Shao (1993 مواردی را برای ایجاد تسهیلات امنیتی در شاهراههای مخصوص وسایل سریع‌السير¹ بررسی کرده‌اند. آنها بیان کرده‌اند که پروژه‌های امنیتی از اقدامات متقابلی تشکیل شده است که هزینه و کارایی آنها با استفاده از عبارات زبانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این مولفه‌ها (احساس امنیت، رانندگی راحت، ...) با مقادیر دقیق قابل بیان نیستند.

از دیگر کارها می‌توان به فعالیت Sayed و همکاران در استفاده از منطق فازی برای تشخیص نواحی حادثه‌خیز نام برد. آنها برای این کار 7000 فقره تصادف را بررسی کردند و تمام این تصادفات را با استفاده از 14 متغیر زیر مدل نمودند:

- درجه انحنای جاده
- کیفیت جاده
- حدود سرعت
- شرایط سطح جاده
- شرایط آب و هوایی
- شرایط روشنایی مکان جاده و نوع استفاده آن
- زمان تصادف
- مکان تصادف
- نوع تصادف
- شدت تصادف
- ابزار کنترل ترافیک
- استفاده از ابزارهای محدودکننده
- میزان سرعت اتومبیل با توجه به حجم ترافیک
- نوع اتومبیل

¹ Expressways

پس از بررسی این موارد آنها از یک ساختار Fuzzy KNN برای مشخص کردن میزان احتمال تصادف در فاکتورهای مرتبط با جاده، راننده و اتومبیل استفاده کرده‌اند.

Busch و همکارانش نیز از منطق فازی برای پیش‌بینی و تشخیص حادثه‌های رانندگی در آزادراه¹ استفاده کرده‌اند. مقادیر ورودی که به صورت متغیرهای زبانی تعریف شده‌اند شامل تفاوت سرعت بین اتومبیل‌های مجاور، حجم ترافیکی موجود در همسایگی اتومبیل و نحوه رانندگی در n مرحله است. خروجی سیستم فازی آنها، احتمال بروز تصادف در مرحله جاری را نشان می‌دهد.

Schretter و Hollatz نیز از منطق فازی برای مشخص کردن زمان لازم برای توقف پس از یک تصادف استفاده کردند. آنها فرض کردند زمان انتظار به پارامترهای مربوط به تصادف بستگی دارد که عبارتند از:

- شدت تصادف
- امید به حضور افراد در محل برای امدادسانی
- مکان تصادف
- زمان تصادف
- حجم ترافیک

مثالی از قوانین این سیستم در زیر آمده است:

*If the damage is VERY SEVERE
and the expectation level of someone's arrival is POSITIVE,
Then the waiting period is VERY SHORT.*

11-13: مراحل مهندسی ترابری

مراحل مهندسی ترابری در یک منطقه را می‌توان به سه زیرگروه کلی تقسیم نمود. مرحله اول ایجاد مسیر یا Trip Generation نام دارد. در این مرحله، سعی بر آن است تا بهترین مسیرهای ممکن برای رفت و آمد بین قسمت‌های مختلف یک منطقه انتخاب و ایجاد گردد.

¹ Freeway

Kalic و Teodorovic، Wang و Mendel و همچنین Xu و Chan افرادی هستند که این مسئله را با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار داده‌اند.

مرحله دوم در مهندسی ترابری، پیش‌بینی توزیع رفت و آمد در مسیرها می‌باشد که در این مرحله سعی می‌شود تا با استفاده از داده‌هایی مانند میزان رشد جمعیت، وجود مکانهای تجاری و اداری، ویژگیهای مسیر تردد از جمله مکان قرارگیری آن، میزان نزدیکی به مرکز شهر و عواملی از این قبیل، تجمع و توزیع تردد پیش‌بینی گردد. این داده‌ها در تعیین نوع جاده، پهنای آن و ... نیز قابل استفاده است.

در این زمینه نیز کارهای متعددی با استفاده از منطق فازی انجام شده است. Kalic و Teodorovic، Wang و Mendel از مهمترین افرادی هستند که در این زمینه مقالاتی را ارائه داده‌اند. از جمله یکی از کارهای قابل‌ذکر در این زمینه، ترکیب منطق فازی و الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به نتایج بهتر توسط Kalic و Teodorovic است. آنها ابتدا با استفاده از داده‌های موجود، چندین قانون پایه ایجاد نمودند که از آن به عنوان جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. در روش آنها، مجذور تفاضل نتیجه به‌دست آمده از قوانین موجود و داده‌های حقیقی، به عنوان تابع برازش¹ برای الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند.

سپس با استفاده از عملیات مربوط به الگوریتمهای ژنتیک (ترکیب، جهش و انتخاب) نسلهای بعدی به دست می‌آیند که منجر به بهترین نتیجه می‌گردند.

سومین و آخرین مرحله مهندسی ترافیک، انتخاب مدل ترافیکی برای مسیرهای حاصل از دو مرحله قبلی می‌باشد. در این مرحله با استفاده از داده‌های موجود، مناسب‌ترین وسیله نقلیه عمومی برای منطقه انتخاب می‌شود. داده‌هایی همچون وضع زندگی افراد ساکن در یک منطقه، چگونگی استفاده از یک وسیله نقلیه شخصی، هزینه‌های راه‌اندازی وسایل نقلیه عمومی و طول مسیر از جمله داده‌هایی هستند که برای تصمیم‌گیری در این مسئله از آنها استفاده می‌شود.

¹ Fitness function

Quadrado، Kalic و Teodorovic، Wang و Mendel کارهایی را در این زمینه انجام داده‌اند. مثلاً در سیستمی که Quadrado برای بررسی میزان دسترسی و استفاده از مدل‌های رفت و آمد در شهر لیسبون پیاده‌سازی کرده، از قوانینی به شکل زیر استفاده نموده است:

*If the number of people involved in movements is VERY BIG and
the time used in those movements is VERY SMALL,
Then the accessibility is HYPER BIG.*

مقادیر ورودی شامل تعداد افراد شرکت‌کننده در یک مدل و زمان مورد نیاز برای آن است. خروجی مسئله بیانگر قابلیت مدل برای استفاده می‌باشد.