منظومة كبح تلقائية باستخدام المسيطر الغامض

د. حيدر صباح الأعرجي
جامعة السابع من أكتوبر

المـــقدمـــة.

خلال العشرين سنة الأخيرة أخذ الاهتمام بتزايد في مجال السيطرة التلقائية في المركبات بسبب ظهور متطلبات جديدة ملحة, كظهور القوانين الصارمة التي تحكم استهلاك الوقود والسيطرة على نسب الغازات المظهرة والناتجة من الاحتراق من أجل المحافظة على البيئة . كذلك السعي إلى تحسين مستوى سيطرة السائق على المركبة بحيث يتوفر للسائق كل ما يريده من معلومات حول المركبة والطريق وبنفس الوقت تستجيب المركبة إلى ظروف ومعطيات الطريق بصورة جيدة، وبذلك توفر هذه المركبات الراحة والأمان للسائق والركاب، وبذلك تتحول المركبة من مجرد آلة بسيطة للاستخدام إلى جزء متقدم يواكب الحياة العصرية .

كل هذا أدى إلى ضرورة وجود مسيطرات عالية الدقة تسيطر على الوظائف المختلفة للمركبة، وتقلل من العمليات اليدوية وتكون للسائق مساعدا جيدا في الأوقات الحرجة . لذلك نجد اليوم الكثير من الوظائف في المركبة تنفذ من خلال أنواع مختلفة من وحدات السيطرة الالكترونية. وتكمن صعوبة تصميم المسيطرات في صعوبة وصف الحالة الديناميكية التي تمر بها المركبة أثناء حركتها لوجود تغير مستمر في الكثير من المعطيات خلال الحركة, وبالتالي من الصعوبة تحديد طريقة متقنة للتصميم.

عدة أنظمة طورت بواسطة شركات السيارات لتحسين الأمان والسلامة في مركباتها منها المسيطر مانع التصادم (Anti-Collision) [1] والأنظمة المثبتة للسرعة (Cruise Control) [2] .

هذه الأنظمة تحذر وتنبه السائق في الظروف المختلفة التي تمر بها المركبة أثناء سيرها ومنها :

1. عند الاقتراب من سيارة في الأمام بحيث تكون فترة الوصول إلى السيارة الأمامية اقل من خمس ثواني .
2. عند ظهور جسم فجأة أمام مركبة.
3. إذا تباطأت أو توقفت السيارة التي في الأمام فجأة .
4. إذا وجدت سيارة في المنطقة الميتة من الرؤيا بالنسبة للسائق عند الاجتياز .

بالإضافة إلى وجود الصندوق الأسود الذي يسجل معلومات حول أداة المركبة والطريق لكل عشرة دقائق من حركة المركبة للمساعدة في فهم وقوع الحوادث في حالة حصولها .

كل أنظمة الكبح المستخدمة تستخدم جهاز رادار يوضع في مقدمة المركبة يقوم بإرسال إشارة ومن ثم اصطدامها بأقرب جسم أمام المركبة وبذلك يمكن تحديد المسافة بين المركبة والجسم الذي يقع أمامها.

الأنظمة المثبتة للسرعة (Cruise Control) توفر للمستخدم إمكانية إدخال سرعة تصميمية معينة تسير بها المركبة ويقوم المسيطر بعد ذلك بتغيير السرعة حسب المتطلبات لتي تواجه حركة السيارة كظهور عقبة أمام المركبة مثلا. هذه المنظومة تستخدم المسافة بين المركبة والجسم الذي أمامها والسرعة التصميمية والتغير في السرعة كمدخلات لمعالج مايكرو (Microprocessor) فيكون الخرج ضغط الموقف (Brake Pressure) أو عملية تعجيل للمحرك وبالتالي للسيارة وبذلك يتم تغير السرعة . في هذه المنظومة استخدمت خوارزمية رياضية لحساب قوة الكبح والانطلاق , منظومة المسيطر الجوال (Cruise Control) طبقت في سيارة فولفو (Volvo) واختبرت في أوربا , نتائج الاختبار أظهرت بان المنظومة ليست نشيطة (Robust) لمتغيرات وظروف الطريق, فالحاجة ما زالت قائمة لمزيد من العمل في هذا المجال من اجل تطوير منظومات سيطرة أكثر دقة ويمكن الاعتماد عليها .

إن علاقة متغيرات السيارة مع متغيرات الطريق تكون أصعب من وصفها بنموذج رياضي (Mathematical Model) , إذ هناك الكثير من العوامل تؤثر في إعاقة حركة المركبات منها مقاومة التدحرج (Rolling Resistance) للعجلات ,

مقاومة الهواء (Drag Aerodynamic)مقاومة الاحتكاك في أجهزة نقل الحركة (Transmission Resistance) , مقاومة الصعود (Gradient Resistance) بالإضافة إلى قوة الكبح , لذلك يجب أن تأخذ هذه العوامل جميعا بنظر الاعتبار في تصميم أي منظومة كبح تلقائية . هذه العوامل تؤثر من الناحية الرياضية بشكل لاخطي مما يزيد من صعوبة تصميم منظومات الكبح التلقائية بالإضافة إلى إن هذه العوامل غير ثابتة المقدار بل تتغير حسب ظروف الطريق والحالة التشغيلية للمركبة لذلك فان تصميم المسيطرات التقليدية تكون مهمة صعبة .

الهدف من هذا البحث هو تصميم منظومة كبح تلقائية باستخدام المسيطر الغامض (Fuzzy Controller) [3] لقدرته على التعامل مع المنظومات غير الخطية بشكل أفضل .

النموذج الديناميكي للمركبة : Vehicle Dynamic Model

النموذج الديناميكي المستخدم في هذا البحث هو نموذج لأخطي بوجود الفرضيات التالية:

1. حالة الطريق هي نفسها لكل العجلات.
2. قوى الكبح المسلطة تتوزع بصورة متساوية على كل العجلات.
3. حركة المركبة بشكل طولي فقط(Longitudinal Motion) وان المعادلة الديناميكية لنموذج المركبة الموضح في الشكل (1)[4] هي:

$$-4F_x - F_a - F_r \pm mg\sin\theta = m\frac{dv}{dt} \quad \text{.....1}$$

v سرعة المركبة, m كتلة المركبة , θ زاوية ميلان الطريق , g التعجيل الأرضي , F_r مقاومة التدحرج وتعطى بالعلاقة التالية:

$$F_r = f_r N \quad \text{.....2}$$

f_r معامل مقاومة التدحرج (Coefficient of rolling resistance) ويمكن حسابه كالتالي :

$$f_r = f_0 + f_s\left(\frac{3.6v}{100}\right)^{2.5} \quad \text{.....3}$$

f_s, f_0 معاملات [5] , F_a تمثل مقاومة الريح ويمكن أن تحسب من المعادلة :

$$F_a = Kv^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 4$$

حيث K ثابت مقاومة الهواء [5] , ومن جانب آخر إن المعادلة الرياضية لدوران العجلة والموضحة في الشكل (2) تعطى بالشكل التالي:

$$-T_b + F_x R = I\frac{d\omega}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 5$$

ω السرعة الزاوية للعجلة, I عزم القصور الذاتي للعجلة , R نصف قطر العجلة, T_b عزم التوقف , F_x قوة الكبح وتحسب من المعادلة التالية:

$$F_x = \mu N \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 6$$

حيث N القوة العمودية على العجلة , μ معامل الالتصاق للعجلة بالأرض (Adhesion Coefficient) , ويعتمد معامل الالتصاق هذا على معامل الانزلاق وكما هو موضح بالشكل (3) لذلك فان

$$\mu = f(\lambda) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 7$$

يعرف معامل الانزلاق λ عند التوقف بالشكل التالي :

$$\lambda = 1 - \frac{R\omega}{v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 8$$

حيث R نصف قطر العجلة , v السرعة الخطية للمركبة , ω سرعة الزاوية للعجلة.

معامل الانزلاق ومعامل الالتصاق:

إن علاقة معامل الانزلاق λ (Slip) ومعامل الالتصاق μ (Adhesion Coefficient) لعجلة مطاطية موضح بالشكل (3)حيث نلاحظ إن أقصى التصاق يحدث عندما يكون الانزلاق 20% للطريق الجاف[5-6] . لذلك فان هدف المسيطر المقترح هو المحافظة على قيمة الانزلاق بحدود 20% لإحداث أكبر قوة كبح بدون

حدوث انزلاق إضافي للعجلات وبذلك تحافظ المركبة على استقراريتها خلال مسافة التوقف . لذا فإن منظومة الكبح المقترحة تحتاج إلى قياسات حقيقية لمعرفة الحالة بين العجلات والطريق وقياس سرعة دوران كل عجلة والسرعة الخطية لمركز العجلة لحساب قيمة الانزلاق.

تصميم المسيطر: Controller Design

المسيطر المقترح هو من نوع المسيطر الغامض (Fuzzy Controller) حيث تكون السرعة الأمامية للمركبة v والمسافة بين المركبة والجسم في الأمام d ومقدار خطأ الانزلاق عن القيمة التصميمية (λ) إدخالات للمسيطر بينما يكون الإخراج للمسيطر هو عزم التوقف T_b.

تم تقسيم مدخلات ومخرجات المسيطر الغامض إلى قيمة منطقية (Linguistic Values) على أساس الخبرة والمعرفة في هذا المجال , فقد تم تقسيم المسافة إلى خمسة مجاميع هي:

قريبة جدا VC وقريبة C ومتوسطة M وبعيدة F وبعيدة جدا VF. وأخذت كل مجموعة من مجاميع المسافة دالة عضوية (Membership Function) وكما هو مبين في الشكل (4).

وقسمت قيم السرعة إلى خمس مجموعات هي: بطيئة جدا VS وبطيئة S ومتوسطةM وسريعة F وسريعة جدا VF . وأخذت كل مجموعة من مجاميع السرعة دالة عضوية كما هو مبين في الشكل (5) . وقسم خطأ الانزلاق إلى ثلاثة مجاميع هي: موجب P صفر Z وسالب N وأخذت كل مجموعة من مجاميع خطأ الانزلاق دالة عضوية كما هو مبين في الشكل (6) . بينما قسمت قيم عزم التوقف إلى خمس مجاميع هي : بدون عزم Nb وعزم قليل Lb وعزم متوسط Mb وعزم كبير Hb وعزم كبير جدا VHb وأخذت كل مجموعة من مجاميع عزم التوقف دالة عضوية كما مبين في الشكل (7) .

إن قيمة عزم التوقف حسب على أساس مواصفات المركبة المدرجة في الملحق (1) .

إن التعريفات أعلاه للقيم المنطقية ينتج عنة 75 قاعدة أساسية (Rules Base) للمنطق الغامض من نوع (If-Then) والتي تحكم العلاقة بين المجموعات للمدخلات والمخرجات ويبين الجدول (1) نموذج لعشر قواعد أساسية وتم فك غموض الإخراج (Defuzzifiation) للمسيطر الغامض للحصول على قيمة عددية واضحة للإخراج (عزم التوقف) باستخدام طريقة مركز المساحة (Center of Area Method) [9-8-7] .

1-	If v is S and d is F and λ is N then Tb is Nb
2-	If v is S and d is M and λ is N then Tb is N
3-	If v is S and d is F and λ is N then Tb is Lb
4-	If v is H and d is M and λ is N then Tb is Mb
5-	If v is H and d is M and λ is Ze then Tb is Lb
6-	If v is H and d is M and λ is P then Tb is Lb
7-	If v is H and d is F and λ is N then Tb is Mb
8-	If v is H and d is F and λ is Ze then Tb is Lb
9-	If v is VH and d is C and λ is N then Tb is Vb
10-	If v is VH and d is C and λ is N then Tb is Mb

جدول (1) عشر قواعد أساسية

المحاكاة: Simulation

أداء المسيطر المقترح فحص من خلال الاستجابة الديناميكية للنموذج الرياضي اللاخطي للمركبة الموصوف في هذا البحث وباستخدام القيم العددية لثوابت المركبة المبينة في الملحق (1). تم تحديد قيمة الانزلاق بحدود 20% على أساس إن المركبة تسير على طريق جاف حيث يكون معامل الالتصاق اكبر ما يمكن عند انزلاق 20% وكما هي مبينة في الشكل (3).

مثال (1) للمحاكاة: سرعة المركبة (30m/sec) , سرعة الجسم في الأمام (15m/sec) , المسافة بينهما (50m) .

يبين الشكل (8) الاستجابة الديناميكية للمسافة والسرعة ومعامل الانزلاق حيث نلاحظ انخفاض السرعة إلى الصفر مع وجود مسافة بين المركبة والجسم عند لحظة التوقف أكثر من 10m بينما يكون معامل الانزلاق قريب عن 20% خلال فترة التوقف بالرغم من ارتفاع قيمة الانزلاق إلى 35% في بداية التوقف وهذه القيمة تعتبر قليلة إذا ما قورنت بالانزلاق التام للمركبة .

مثال (2) للمحاكاة: سرعة المركبة (25m/sec) , سرعة الجسم (0m/sec) , المسافة بينهما (50m) .

يبين الشكل(9) الاستجابة الديناميكية للمسافة والسرعة ومعامل الانزلاق عند توقف السيارة من سرعة (25m/sec) إلى أن توقفت على بعد مسافة حوالي 32m من الجسم الثابت , حيث حافظ المسيطر على قيم الانزلاق قريبة من قيمة الانزلاق المثالية وخاصة عند بداية التوقف .

الاستنتاجات:

لمنظومة كبح تلقائية لمركبة نفذت باستخدام المسيطر الغامض لما لها من قدر على التعامل بشكل أفضل من المسيطرات الكلاسيكية مع النماذج غير الخطية وخاصة التي تحتوي على عوامل غير ثابتة كنموذج المركبة المقترح في هذا البحث لذي يحتوي على معاملات قد تتغير حسب حالة المركبة أو ظروف الطريق كوزن المركبة وحالة الإطارات ونوعية سطح الطريق (جاف أو مبتل) .

نتائج المحاكاة لهذا المسيطر أظهرت استجابة مقبولة لكل من سرعة المركبة ومسافة التوقف ومعامل الانزلاق حيث تم إيقاف المركبة على مسافة من الجسم أمامها سواء كان متحركاً أو ثابتاً حتى عند سرعة كبيرة للمركبة وجسم ثابت أمامها وهي أصعب حالة قد تواجه المركبة كذلك إن المسيطر حافظ على قيمة قريبة من قيمة الانزلاق التصميمية لحالة الطريق المفترضة لهذا البحث والتي هي 20% لإعطاء

أفضل تماسك للمركبة مع سطح الطريق، ولمنع انزلاق المركبة وبالتالي المحافظة على استقراريتها أثناء التوقف .

ملحق(1)

القيم العددية لثوابت المركبة :

كتلة السيارة m= 1000kg

القصور الذاتي للعجلات $I=1.7kgm^2$

معاملات المقاومة للتدحرج $f_s = 0.0075$ ، $f_0 = 0.011$

ثابت مقاومة الهواء $k=0.48Nsec^2/m^2$

نصف قطر العجلة R=.33m

المراجع

1- Boverie S., Demaya, B.and Titli A., "Contribution of Fuzzy Logic Control to the Improvement of Modern Car performances", Control Engineering,vol.1,1993.

2- Ulf Palmquist, " Intelligent Curies control and Roadside Information ", IEEE, vol13, Feb.1993.

3- Wong J.,"Theory of Ground Vehicles ", New York, N.Y.Wiely, 1993.

4- Mike B.and Masayoshi T., "Fuzzy Logic Traction Cntrollers and their Effect on Logitudinal Vehicle Platoon system " , Vehicle system Dynamics, 25,1996,pp.277-303.

5- J.layne and K.Passino, "Fuzzy model reference learning control " ,IEEE , Sept.1992,pp.686-691.

6- L. Wang , "Generating fuzzy rules by learning from examples " , IEEE , trans.syst. , Man, Cyben, vol.10 june 1991.

7- E.Czogala and W.Pedrycz," On identification in fuzzy systems and its applications in control problems ", Fuzzy set.syst., vol.6 pp.73-83, 1981.

8-E.Czogala and W.Pedrycz, " Control problems in fuzy ", Fuzzy sets syst. ,vol.7 pp.257-273, 1982.

9- Marjore Sorge, " you are Too Close Warm System ", Words Wold , vol.29,April 19