

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

طالب الدكتوراه : بشار انطونيوس موسى

هندسة التحكم الآلي والحواسيب - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة البعث

الإشراف : المشرف الأساسي : د. بسيم عمران المشرف المشارك: د. جمانا دياب

ملخص البحث:

في أنظمة التحكم في الزمن الحقيقي، تعتبر الاتصالات فائقة الموثوقية وذات زمن الوصول المنخفض أمراً بالغ الأهمية للاتصال بين جهاز التحكم عن بعد وهدف التحكم الخاص به. إذ يمكن أن يؤدي تأخير الإرسال أو ضياع الحزمة إلى انخفاض الأداء فقدان الاستقرار. وهدفنا هو تحسين أداء عملية التحكم نتخلص فيه من الآثار السلبية لفقدان الحزم المرسل.

في هذه الورقة، تم تطبيق وحدة التحكم الذكية القائمة على التحفيز الدماغي (BELBIC)¹ للتغلب على التأثيرات السلبية لفقدان الرزم في شبكة التحكم في الزمن الحقيقي. إذ تم تصميم وحدة تحكم BELBIC بناءً على النموذج الحسابي لعملية التحفيز الدماغي في الجهاز الحوفي في دماغ الثدييات، وتم اختبار وحدة تحكم BELBIC تقليدية ووحدة تحكم PID تقليدية عند وجود ضياع بالرزم، ولكن كان النظام غير مستقر. تم تعديل وحدة تحكم BELBIC بوضع ذاكرة للحالات السابقة. وهذا أدى إلى استقرار النظام بسبب التغلب على مشكلة ضياع الرزم.

الكلمات المفتاحية: المتحكم الذكي القائم على التحفيز الدماغي، التحفيز الدماغي، التحكم الذكي، المتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي، رباعية المحرك، نظم التحكم في الزمن الحقيقي، فقدان الحزم.

¹ Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller (BELBIC)

Design of Brain Emotional Learning Based on Intelligent Controller to Solve Packets loss in Real Time Control Systems

Abstract:

In real time control systems, ultra-reliable and low-response time communication is critical for the connection between the remote controller and its control objective. Since both transmission delay and packet loss can lead to control performance loss. our goal is to optimize control performance, to overcome the adverse influences of

packet losses.

in this paper Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller (BELBIC) is applied to overcome the adverse influences of stochastic packet losses encountered in network-based real time control. BELBIC controller is designed based on the computational model of emotional learning process in mammalian brain limbic system. We try to use BELBIC controller and PID controller when we have packet loss, but the system wasn't stable. then we modified BELBIC controller by adding memory to remember past states, so we get a stable system.

Keywords: BELBIC, Brain Emotional Learning, PID controller,

Intelligent Controller, quadcopter, real-time control systems, packet losing.

1- مقدمة:

يشار إلى أنظمة التحكم التي يتم التواصل فيها بين أجهزة الاستشعار وأجهزة التحكم والمشغلات ومكونات النظام الأخرى عبر الشبكة باسم أنظمة التحكم الشبكية² NCSs. يوفر استخدام شبكة الاتصالات مزايا كبيرة من حيث الموثوقية وتحسين استخدام الموارد وانخفاض الأسلاك وسهولة التشخيص والصيانة وإمكانية إعادة التشكيل. لذلك فقد أصبح نطاق تطبيقات NCS أكثر شمولاً، بما في ذلك مجالات الأنظمة الصناعية، والفضاء، وتصنيع الروبوتات، والاستشعار عن بعد التكنولوجيا وما إلى ذلك [1-4]. إلى جانب التطور المتزايد لتكنولوجيا المعلومات، سيتم استخدام NCS في المزيد من المجالات في المستقبل [5-8]. ومع ذلك، فإن فقدان حزم البيانات الناجم عن الشبكة من شأنه أن يجعل أداء النظام يتدهور وقد يؤدي إلى عدم الاستقرار [9-12].

في أنظمة التحكم اللاسلكية في الزمن الحقيقي، يعد زمن الاتصال الموثوق والمنخفض الكلفة أمراً بالغ الأهمية للاتصال بين جهاز التحكم عن بعد المدمج مع قاعدة المحطة وهدف التحكم فيها (أي النظام) [13].

حظي استقرار محطات التحكم التي تستخدم شبكة اتصالات وتخضع لفقدان الرزم باهتمام كبير. في حالة الزمن المستمر، تم تصميم NCS كنظام ديناميكي غير متزامن مع قيود على الأحداث، حيث تم التعامل مع الشبكة على أنها مفتاح يغلق بمعدل معين يتوافق مع احتمال فقدان الرزمة [14]. وقد تبين هناك أن معدل أخذ العينات السريع بدرجة كافية يمكن أن يضمن استقرار النظام. في [15] نظر الباحثون في استقرار NCS القائم على النموذج، أي NCS مع نموذج إضافي يستخدم لتقدير حالة النظام بين أوقات الإرسال وتوليد إشارة تحكم.

في حالة الزمن المتقطع، عادة ما يتم نمذجة عملية إسقاط الحزمة لشبكة الاتصال إما على أنها عملية برنولي أو سلسلة ماركوف، وهي أكثر عمومية. تتمثل الطريقة الأولى في استخدام تسلسل توزيع احتمالية برنولي لوصف فقدان حزمة البيانات كمتغير

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

عشوائي، والذي يأخذ قيمة من $\{0, 1\}$ [16-19]. تمت مناقشة استقرار محطة التحكم بالشبكة التي تتأثر قناة اتصالها بفقدان حزمة البيانات [16]، وتم استخدام متغير برنولي لنمذجة فقدان حزمة البيانات. تم أخذ التحكم في الوضع المنزلق على أساس مراقب NCS مع التكميم في الاعتبار [17]، حيث حدث فقدان حزمة البيانات عندما تم إرسال الخرج، وتم وضع مخطط تعويضي للتعامل مع تأثيرات فقدان حزمة البيانات النموذجية، التي تم التعامل معها على أنها عملية برنولي. تمت دراسة نهج H جديد لمحطة التحكم بالشبكة مع فقد متعدد لرزم البيانات [18]، وتم تطبيق نظام تحكم يحتوي على متغيرين من متغيرات برنولي لنمذجة NCS، والتي لا تحتوي فقط على فقدان حزمة بيانات القياس ولكن أيضًا فقدان التحكم في فقدان حزمة البيانات. تمت مناقشة مشكلة التحكم الخطي التريبيعي الغاوسي لمحطة التحكم بالشبكة مع فقدان حزمة البيانات [19]، حيث يُفترض أن فقدان حزمة البيانات لا يحدث فقط في القناة من المستشعر إلى وحدة التحكم ولكن أيضًا في القناة من وحدة تحكم إلى مشغل، تم وصف خسائر حزم البيانات في القنوات بواسطة عمليات برنولي العشوائية. ناقش يانغ وهان وحدة تحكم $H-\infty$ تم حلها عن طريق عدم مساواة المصفوفة الخطية بتكلفة منخفضة بشكل ملحوظ، ولكن نظام التحكم بأكمله كان معرض لخطر عدم الاستقرار نظرًا لأنه تم دراسة فقط الحالات المثلى، وترك أسوأ الحالات وحدها [20]. تم اقتراح تعديل نظام التحكم في التتبع اللاسلكي مع فقدان الحزمة بواسطة [21]. تم دراسة استراتيجية تحكم تستخدم عدم مساواة المصفوفة الخطية تجاه التأخير الزمني والتسرب العشوائي للحزمة من الشبكات في [22]

2- مشكلة البحث:

التأثيرات السلبية لفقدان الحزم في شبكة التحكم في الزمن الحقيقي ما يؤدي إلى فقدان الأداء في التحكم.

3- أهمية البحث:

تكمن أهمية هذا البحث في تحسين جودة الاتصال في شبكة التحكم في الزمن الحقيقي، الحصول على منظومة تحكم قادرة على التغلب على مشكلة فقدان الحزم من خلال متحكم مناسب.

4- الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى التغلب على مشكلة فقدان الحزم في شبكة التحكم في الزمن الحقيقي عن طريق تحسين المتحكمات الذكية المعتمدة على التحفيز الدماغي.

5- منهج البحث:

يعتمد البحث على المنهج التطبيقي من خلال محاكاة النظام المتحكم به والاضطرابات الخارجية التي يمكن أن يتعرض لها، والحصول على النتائج بعد تطبيق متحكم BELBIC على هذا النظام.

6- الدراسة:

6-1- نمذجة رباعية المحرك:

الخطوة الأولى قبل مرحلة التحكم هي النمذجة المناسبة لديناميكيات النظام. تسهل هذه المرحلة التحكم برباعية المحرك، لأنها توفر لنا فهماً أفضل لقدرات النظام والقيود عموماً.

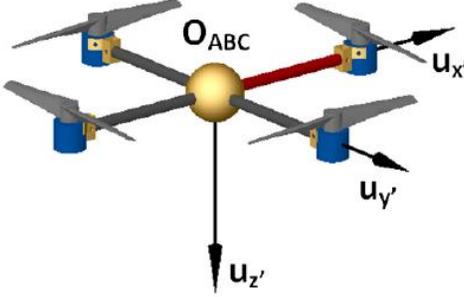
إن ديناميكيات رباعية المحرك معقدة، لذلك حتى نستطيع كتابة معادلات رباعية المحرك الديناميكية بشكل واضح يسهل علينا فهم النظام، فقد قمنا بتعريف اثنين من الأطر المرجعية، إطار ثابت وإطار محمول [24]. يتم تعيين الإطار الثابت أو إطار الأرض من خلال ONED (شمال شرق أسفل North-East-Down)، حيث يكون المحورين (U_X و U_Y) موجّهين مع الاتجاهات الشمالية والشرقية على التوالي، والمحور

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

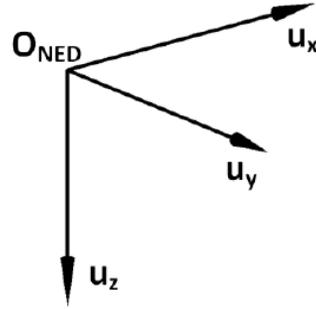
الثالث (U_z) موجه إلى الأسفل نحو مركز الأرض، الشكل (1). يتم تعيين الإطار المحمول من خلال O_{ABC} ، أو مركز جسم رباعية المحرك، ومبدأه منطبق على مركز ثقل رباعية المحرك، الشكل (2).

يحدد موقع رباعية المحرك حول كل محور من محاور الدوران الثلاثة بست دوال: زوايا أولر Euler $[\psi \theta \phi]$ (الانعراج yaw، الانحراف pitch والالتفاف roll) والسرعات الزاوية حول كل محور من الإطار O_{ABC} والمرمزة $[P Q R]$.

هناك 6 دوال أخرى ضرورية: موقع مركز الثقل $[XYZ]$ ومكونات السرعة الخطية $[U V W]$ بالنسبة إلى الإطار الثابت. وخلاصة القول إن quadcopter لها 12 دالة تصف 6 درجات الحرية.



الشكل (2): الإطار المحمول.



الشكل (1): الإطار الثابت.

يجب أن نستنتج المعادلات التي تصف التوجه من الإطار المحمول بالنسبة إلى الثابت، وهو ما يمكن تحقيقه باستخدام مصفوفة الدوران. تنتج هذه المصفوفة عن ضرب ثلاث مصفوفات أخرى $(R'(\phi), R'(\theta), R'(\psi))$ ، كل منها يمثل دوران إطار O_{ABC} حول كل واحد من محاور O_{NED} العلاقة (1) و(2) و(3).

$$R'(\phi,x) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad R'(\theta,y) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix}$$

$$R'(\psi,z) = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$S = R'(\phi,x) R'(\theta,y) R'(\psi,z) \quad (2)$$

$$S = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & \cos \theta \sin \psi & -\sin \theta \\ \sin \psi \sin \theta \cos \psi - \cos \phi \sin \psi & \cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi & \sin \phi \cos \theta \\ \cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \sin \theta \cos \phi \sin \psi - \sin \phi \cos \psi & \cos \theta \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

حيث S هي مصفوفة الدوران التي تعبر عن توجه تنسيق الإطار O_{ABC} بالنسبة للإطار المرجعي O_{NED}.

باستخدام مصفوفة الدوران لربط القوى وعزوم الدوران من إطار الجسم مع إطار الأرض، تكون معادلات الحركة كما في المعادلة 4[25]:

$$= \begin{bmatrix} -g \\ \frac{(I_y - I_z)}{I_x} \dot{\theta} \dot{\psi} \\ \frac{(I_z - I_x)}{I_y} \dot{\phi} \dot{\psi} \\ \frac{(I_x - I_y)}{I_z} \dot{\phi} \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{k}{m} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k}{I_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k}{I_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{k}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_z \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} \quad (4)$$

حيث أن:

1.4865e-7	معامل الدفع	k
1.023	كتلة رباعية المحرك	m
9.81	تسارع الجاذبية الأرضية	g
0.0094999	عزم العطالة حول x	I _x
0.0094999	عزم العطالة حول y	I _y
0.0094999	عزم العطالة حول z	I _z
1.4865e-7	معامل الجر	d

	عزم الدوران	τ
--	-------------	--------

الجدول(1): قيم ثوابت رباعية الدوار المدروسة.

6-2- التتحكم الذكي المعتمد على التعلم العاطفي للدماغ:

قام Moren و Balkenius في العام 2000 [26] باقتراح نموذج حسابي للوزة الدماغية (Amygdala) والقشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex) في الجهاز الحوفي (Limbic System) مستوحى من الجهاز العصبي. تم اقتراح خوارزمية التحكم المستخدمة في BELBIC بناء على ذلك النموذج.

يوجد أسلوبان لتطبيق نموذج التعلم العاطفي للدماغ (BEL) على نظم التحكم وهما الأسلوب المباشر (direct approach) والأسلوب غير المباشر (indirect approach). يستخدم الأسلوب الأول نموذج BEL على أنه جزء المتحكم، بينما يستخدم الأسلوب الثاني نموذج BEL لتوليف بارامترات المتحكم. في الأسلوب الأول يكون متحكم BEL هو المتحكم الأساسي في النظام ولا يتوافق مع أي متحكم آخر، بينما في الأسلوب الثاني يكون المتحكم BEL هو متحكم داعم بمتحكم أساسي موجود (متحكم PID على سبيل المثال) ويساعد المتحكم الأساسي في تحديد معاملاته الأساسية ليصل بالنظام إلى الاستقرار.

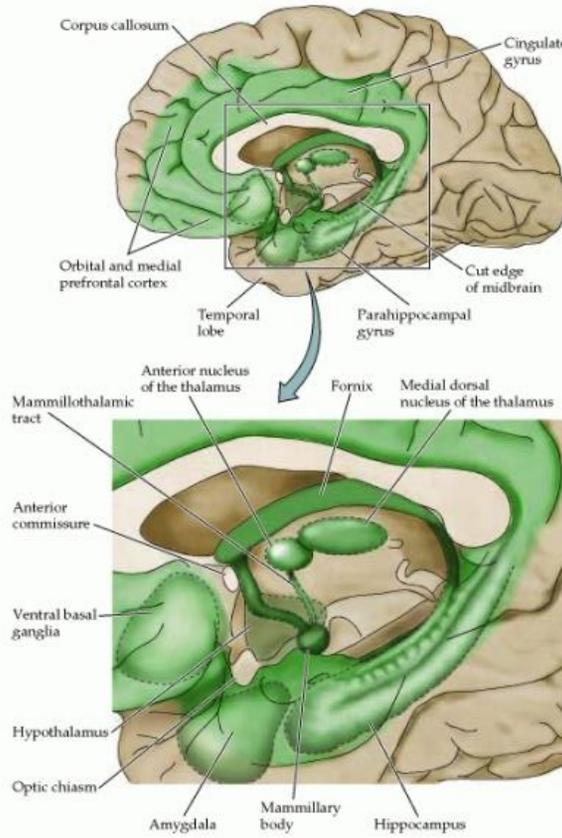
يعتبر التعلم العاطفي طريقة فعالة في نظم التحكم في الزمن الحقيقي بسبب بساطتها ودرجة تعقيدها الحسابي المنخفضة وتدريبها السريع. بالمقارنة مع طرائق أخرى، تعتبر صعوبة التطبيق بسبب درجة تعقيدها الحسابي المرتفعة. تم تصميم BELBIC للعمل في تطبيقات نظم SISO و MIMO. تشير الأبحاث ذات الصلة على أن للنظم التي تستخدم BELBIC أداءً ومثانة جيدين، وخصوصاً قدرته في التعامل مع التشويش ومثانته في حالات تغير البارامترات نظراً لقابليته للتعلم.

6-2-1- بنية الجهاز الحوفي:

إن الجهاز الحوفي هو الجزء من الدماغ المسؤول عن العمليات العاطفية. يقع الجهاز الحوفي في القشرة الدماغية، ويتكون بشكل أساسي من الأجزاء الآتية: اللوزة الدماغية

(Amygdala) والقشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex) والمهاد (Thalamus) والقشرة الحسية (Sensory Cortex) والوطاء (Hypothalamus) والحصين (Hippocampus) بالإضافة إلى أجزاء أخرى تعتبر أقل أهمية. تعتبر اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية الأكثر أهمية في نموذج BEL. يبين الشكل (3) الأجزاء الأساسية للجهاز الحوفي.

سنشرح فيما يلي الوظائف الأساسية للأجزاء الرئيسية للجهاز الحوفي.

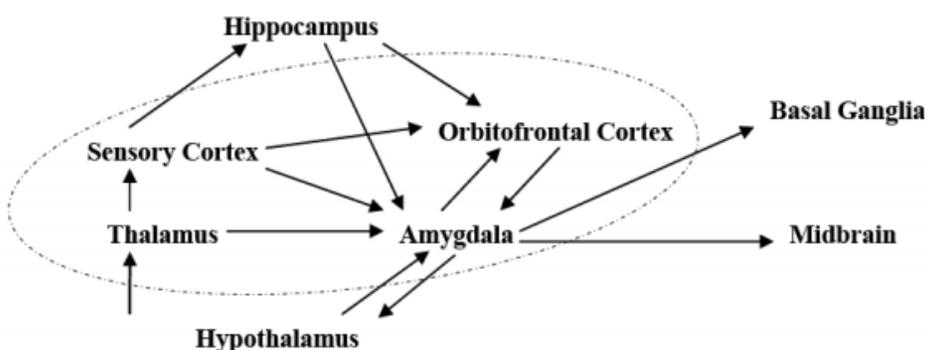


الشكل(3): الأجزاء الرئيسية في الجهاز الحوفي.

تقع اللوزة الدماغية (Amygdala) في المنطقة تحت القشرية (Sub-Cortical Area). إن اللوزة الدماغية موضوعة بحيث يمكنها التواصل مع القشرة الحسية وبقية

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

الأجزاء ضمن الجهاز الحوفي. يبين الشكل (4) الوصلات بين اللوزة الدماغية وبقية الأجزاء في الدماغ. بينت الدراسات أن المحفزات ترتبط مع نتائجها العاطفية في اللوزة الدماغية. يتم في هذه المنطقة ربط المحفزات عالية التحليل (Highly Analyzed Stimuli) في القشرة الحسية بالإضافة إلى المحفزات ذات التصنيف الخشن (Coarsely Categorized Stimuli) في المهاد، يتم ربطها بقيمة عاطفية (Emotional Value).



الشكل (4): التوصيلات بين اللوزة الدماغية وبقية الأجزاء في الجهاز الحوفي.

تتفاعل القشرة الجبهية الحجاجية (Orbitofrontal Cortex) مع اللوزة الدماغية بشكل متبادل. تتمثل الوظيفة الترابطية الأساسية لهذا العنصر في: الذاكرة العاملة (Working Memory) والمجموعة التحضيرية (Preparatory Set) والتحكم المثبط (Inhibitory Control). إن الأحداث الحالية وأحداث الماضي القريب تمثل في الذاكرة العاملة. إن المجموعة التحضيرية هي المرحلة الأولى في التنبؤ بالأفعال على وشك الحدوث. إن التحكم المثبط هو تثبيط انتقائي للمناطق التي قد تكون غير مناسبة في بعض الحالات. أي بكلام آخر، تتمثل وظيفة القشرة الجبهية الحجاجية في تجاهل النتائج المتوقعة والتحكم بإيقاف عملية التعلم للوزة الدماغية.

يقع المهاد (Thalamus) جانب العقد القاعدية (Basal Ganglia)، وهي عبارة عن محطة متوسطة بين المناطق القشرية وتحت القشرية. تقوم أجزاء عدة من المهاد بترحيل معظم المعلومات الحسية من النظم الحسية المحيطة إلى القشرة الحسية. إن إشارات المهاد المتجهة نحو اللوزة الدماغية تتجاوز العمليات المتضمنة في القشرة الحسية والأجزاء الأخرى للنظام، لذلك تستقبل اللوزة الدماغية محفزات سريعة من المهاد والتي تميز عن غيرها من المحفزات باسم الإشارة المميزة (Characteristic Signal).

تقع القشرة الحسية (Sensory Cortex) قرب المهاد وتستقبل إشارات الدخل منه. تقوم القشرة الحية بمعالجة المعلومات من المناطق الحسية. ترسل القشرة الحسية إشارات عالية التحليل إلى اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. تستخدم الثدييات هذه المناطق من الجهاز الحوفي من أجل معالجة الإدراك الحسي (Perceptual Processing).

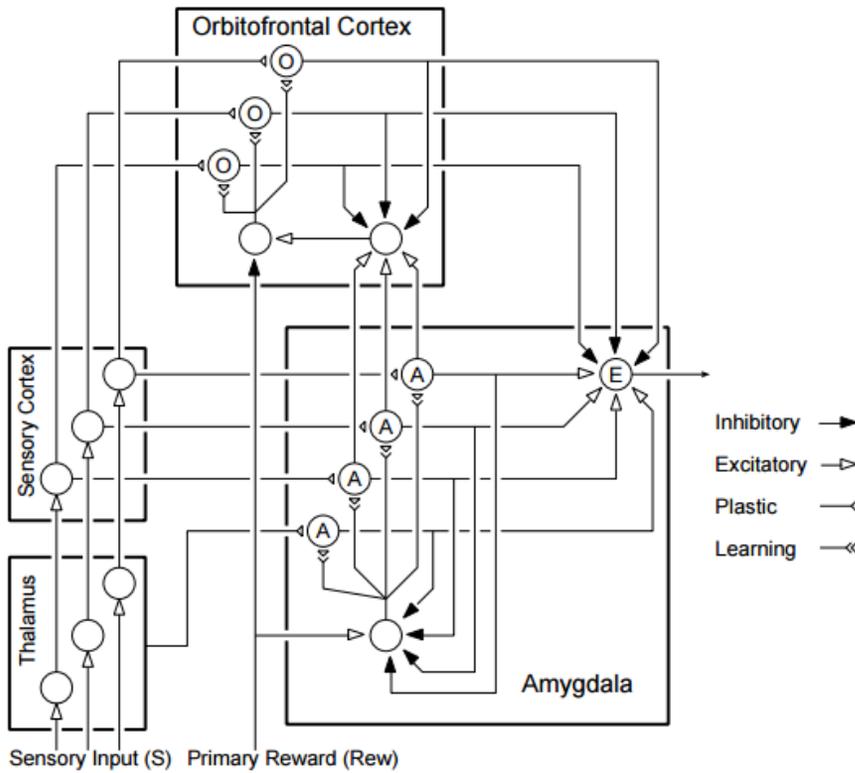
يقع الوطاء (Hypothalamus) تحت المهاد وهو المسؤول عن تنظيم نظام الغدد الصماء (Endocrine System) والجهاز العصبي الذاتي (Autonomous Nervous System). تتصل الأجزاء الجانبية من الوطاء مع مناطق عدة ضمن اللوزة الدماغية. يعتقد بأن هذه الوصلات لها أثر كبير في التحكم التحفيزي للأجزاء ضمن الوطاء.

يقع الحصين (Hippocampus) في منطقة اللوزة الدماغية نفسها، ويعتبر من أكثر أجزاء الجهاز الحوفي تعقيداً. إن وظيفته الأساسية هي ربط البيئة مع مثال بيئي (Environmental Cue). من الوظائف الأخرى للحصين، ترتيب الذاكرة طويلة الأمد وتكوين البيانات القرينية (Contextual Representations).

بالإضافة إلى الأجزاء المذكورة سابقاً، توجد أجزاء عدة لها دور في الجهاز الحوفي، نذكر منها العقد القاعدية (Basal Ganglia) والكرة الشاحبة (Globus Pallidus) والمادة السوداء (Substantia Nigra) والنواة تحت المهاد (Subthalamic Nucleus) والقشرة حول اللوزة (Periamygdaloid Cortex).

6-2-2- النموذج الحسابي لـ BEL:

قام كل من Moren و Balkenius [26] بتطوير نموذج حسابي لمحاكاة اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية والمهاد والقشرة الحسية وأجزاء الدماغ المسؤولة عن التعامل مع العواطف. يبين الشكل (5) النموذج الحسابي للتعلم العاطفي. يقسم هذا النموذج إلى أربعة أجزاء: المهاد والقشرة الحسية واللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. سنغطي في هذا الجزء المهاد والقشرة الحسية بشكل سطحي، بينما سنغطي اللوزة الدماغية والقشرة الحسية بشكل مفصل.



الشكل(5): رسم تخطيطي لعملية التعلم العاطفي للدماغ (BEL).

إن وظيفة المهاد في هذا النموذج هي تمرير الإشارات إلى القشرة الحسية. يرسل المهاد أيضاً إشارة إلى اللوزة الدماغية مبنية على الشكل (5) بتوصيل مفرد. إن هذه الوصلة لا تعطي معلومات عن المحفزات وإنما تقوم فقط بتمثيل وجود بعض المحفزات. إن وظيفة القشرة الحسية هي إرسال إشارات تمثل المحفزات بشكل أكثر تفصيلاً إلى كل من اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. إن هذه الإشارات تقود بدء عملية التعليم في اللوزة الدماغية والمثبطات التي تتحكم بها القشرة الجبهية الحجاجية. يقسم الجزء الأساسي للنموذج إلى قسمين أساسيين، بحيث يقابلان اللوزة الدماغية والقشرة الجبهية الحجاجية. إن هذين القسمين على درجة عالية من التعقيد وسنذكر فيما يلي بعضاً من وظائفهما. تستقبل اللوزة الدماغية المداخل من المهاد ومناطق القشرة، بينما تستقبل القشرة الجبهية الحجاجية المداخل من مناطق القشرة ومن اللوزة الدماغية. يستقبل النظام أيضاً إشارة داعمة (Reinforcing Signal) تسمى Primary Reward (Rew).

يلاحظ من الشكل (5) أن اللوزة الدماغية تستقبل ثلاثة أنواع من المداخل الحسية. يأتي الدخل الأول من المهاد ومن القشرة الحسية. يكون الدخل الثاني عبارة عن إشارة تستخدم لترميز الأهمية العاطفية. يسمى هذا الدخل بإشارة التدعيم (Reinforcement) وتكافئ على سبيل المثال شعور التذوق أو الألم. تستقبل اللوزة الدماغية دخلاً مثبطاً من نظام القشرة الجبهية الحجاجية والذي يمكن أن تثبط الاستجابات العاطفية غير المناسبة. يوجد ضمن اللوزة الدماغية نظامان اثنان: يكون النظام الأول مسؤولاً عن التعلم المثار ويتكون من عدد من العقد الحسية ومن مدخل للتعلم. يكون مدخل التحكم جزءاً من حلقة تغذية عكسية سالبة توقف إشارة التعلم حالما يصل الخرج إلى مرحلة مساوية لإشارة التعليم. إن وظيفة حلقة التغذية العكسية هي ضمان أن يكون رد الفعل العاطفي بالمطال نفسه لإشارة التدعيم. ويكون النظام الثاني مسؤولاً عن عملية التثبيط من خلال الإشارة القادمة من نظام القشرة الجبهية الحجاجية، إذ تقوم إشارة التثبيط هذه بالتحكم بالخرج.

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

يستقبل نظام القشرة الجبهية الحجاجية المداخل من القشرة الحسية بالإضافة إلى معلومات عن إشارة التدعيم الحالية والمتوقعة من اللوزة الدماغية. يتم مقارنة هاتين الإشارتين، وإذا لم نحصل على التدعيم المتوقع يتم تفعيل التعلم في نظام القشرة الجبهية الحجاجية. إن هذه المرحلة من التعلم تجعل من المحفز الحالي قادراً على التحكم بإشارة التثبيط المرسله إلى اللوزة الدماغية بطريقة تجعل بالإمكان تخميد الاستجابة.

يمثل الشعاع S المداخل المحفزة للنظام. توجد عقدة A لكل محفز S . يوجد وزن توصيل مرن V (plastic connection weight) لكل عقدة A . يتم حساب جداء الدخل بهذا الوزن ويكون الناتج هو خرج العقدة A . يمكن حساب التفعيل لكل عقدة من A بالعلاقة (5):

$$A_i = S_i V_i \quad (5)$$

يوجد دخل آخر A_{th} إلى اللوزة الدماغية يمثل أعظم قيمة للمداخل المحفزة S كما في العلاقة (6):

$$A_{th} = \max(S_i) \quad (6)$$

تستخدم هذه الإشارة عند ترميز المداخل الحسية. يتم تعديل أوزان التوصيل V_i لكل عقدة A بما يتناسب مع الفرق بين الإشارة الداعمة Rew ومجموع الخرج الحالي لكل العقد A . بفرض أن α هو ثابت يستخدم لتعديل سرعة التعلم فتكون لدينا العلاقة (7):

$$\Delta V_i = \alpha \left[S_i \max \left(0, Rew - \sum_j A_j \right) \right] \quad (7)$$

نلاحظ خرج النموذج سيقترب من مطال الإشارة الداعمة. لا يمكن للوزن V أن يتناقص وهذا الأمر له سبب منطقي إذ أنه بمجرد أن تم تعلم رد الفعل العاطفي، يجب أن يكون دائماً وألا ينسى. إن مهمة تثبيط ردة الفعل هذه في الحالات غير المناسبة هي وظيفة القشرة الجبهية الحجاجية. إن قاعدة التعلم للقشرة الجبهية الحجاجية مشابهة لقاعدة تعلم اللوزة الدماغية إلا أن أوزان الوصلات للقشرة الجبهية الحجاجية يمكن أن تزداد أو

أن تتناقص. توجد عقدة O لكل محفز. تسلك العقد O سلوكاً مماثلاً للعقد A إذ تستخدم أوزان الوصلات لإشارات الدخل لتوليد الخرج كما في العلاقة (8) [27].

$$O_i = S_i W_i \quad (8)$$

يتم حساب إشارة التدعيم للعقد O من الفرق بين الخرج السابق E والإشارة الداعمة. بفرض β ثابت يدل على معدل التعلم، يمكن حساب ΔW_i وفق العلاقة (9):

$$\Delta W_i = \beta \left(S_i \sum_j (O_j - Rew) \right) \quad (9)$$

أي أن العقد O تقوم بمقارنة إشارة التدعيم المتوقعة والمستلمة وتثبط خرج النموذج بما يتناسب مع مطال الفرق.

تقوم العقدة E بجمع مخارج العقد A ومن ثم تطرح المخارج المثبته من العقد O فنحصل على خرج النموذج كما في العلاقة (10).

$$E = \sum_i A_i - \sum_i O_i \quad (10)$$

إن هذا النظام يعمل إذاً على مرحلتين: في المرحلة الأولى يتعلم النظام الأساسي أن يتوقع ويتعامل مع إشارة تدعيم معطاة. إن هذا النظام الفرعي لا ينسى ما تعلمه، ما يعطي النظام ككل إمكانية الاحتفاظ بقيم الوصلات العاطفية حسب الحاجة. أما في المرحلة الثانية يقوم النظام الثاني المساعد بتتبع عدم التطابق بين توقعات النظام الأساسي والإشارة الداعمة المستلمة كما أنه يتعلم كيف يثبط خرج النظام بما يتناسب مع عدم التطابق.

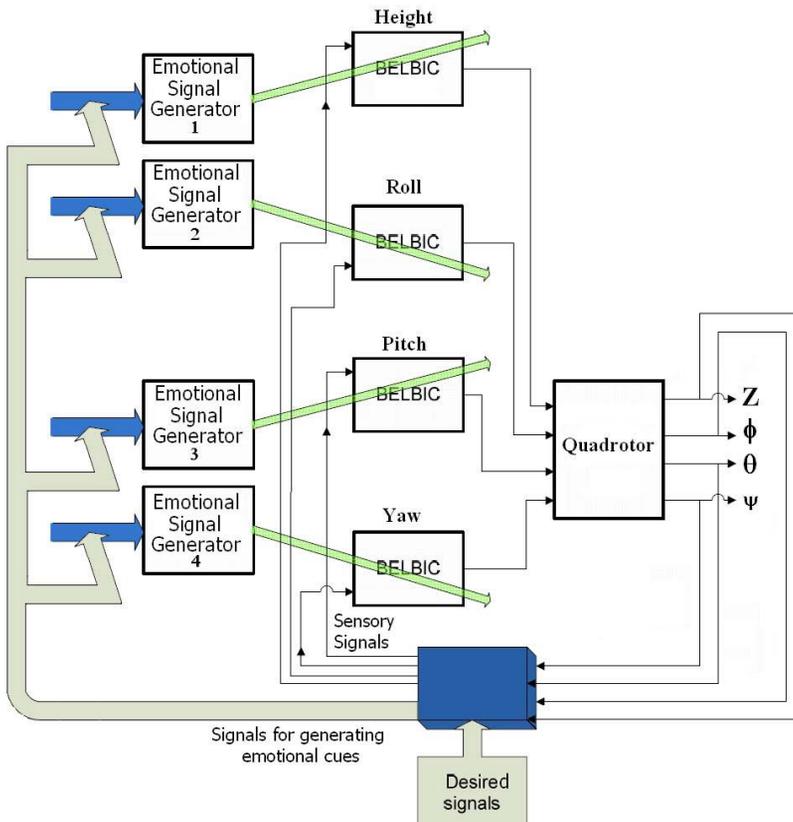
6-2-3- المتحكم الذكي المعتمد على التعلم العاطفي للدماغ:

تم تصميم نموذج BELBIC بناءً على المعادلات السابقة كنموذج إدراكي ذي حلقة مفتوحة من قبل C. Lucas وزملائه في العام 2004. تم استخدام هذا المتحكم في العديد من التطبيقات الصناعية وفي أغراض التحكم.

إن BELBIC ببساطة هو آلية لتوليد الأفعال بناءً على مداخل حسية ومنبهات عاطفية (Reward signals). تبين المعادلات (5) - (10) توصيف BELBIC.

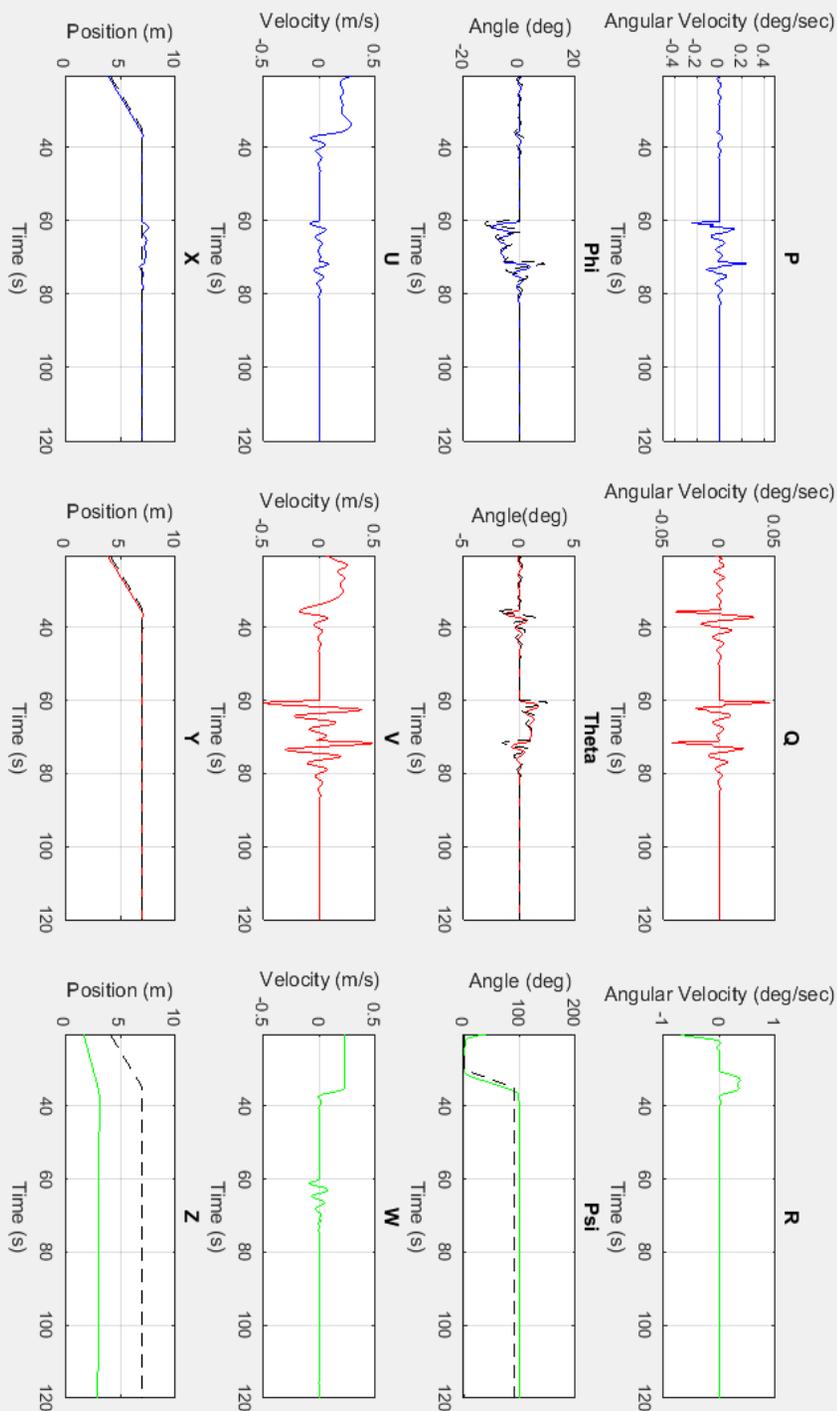
6-3- تصميم المتحكم BELBIC:

تم في هذه الدراسة تصميم أربع كتل BELBIC ضمن وحدة التحكم الذكية، وذلك وفق المعادلات المذكورة سابقاً. كل كتلة BELBIC مسؤولة عن تحكم في متغير أساسي واحد في الحركة. يوضح الشكل (6) مخطط التحكم المقترح. تتكون وحدة التحكم المقترحة من أربعة مولدات إشارة تحفيز دماغي (الربح أولية) وأربعة مداخل حسية.



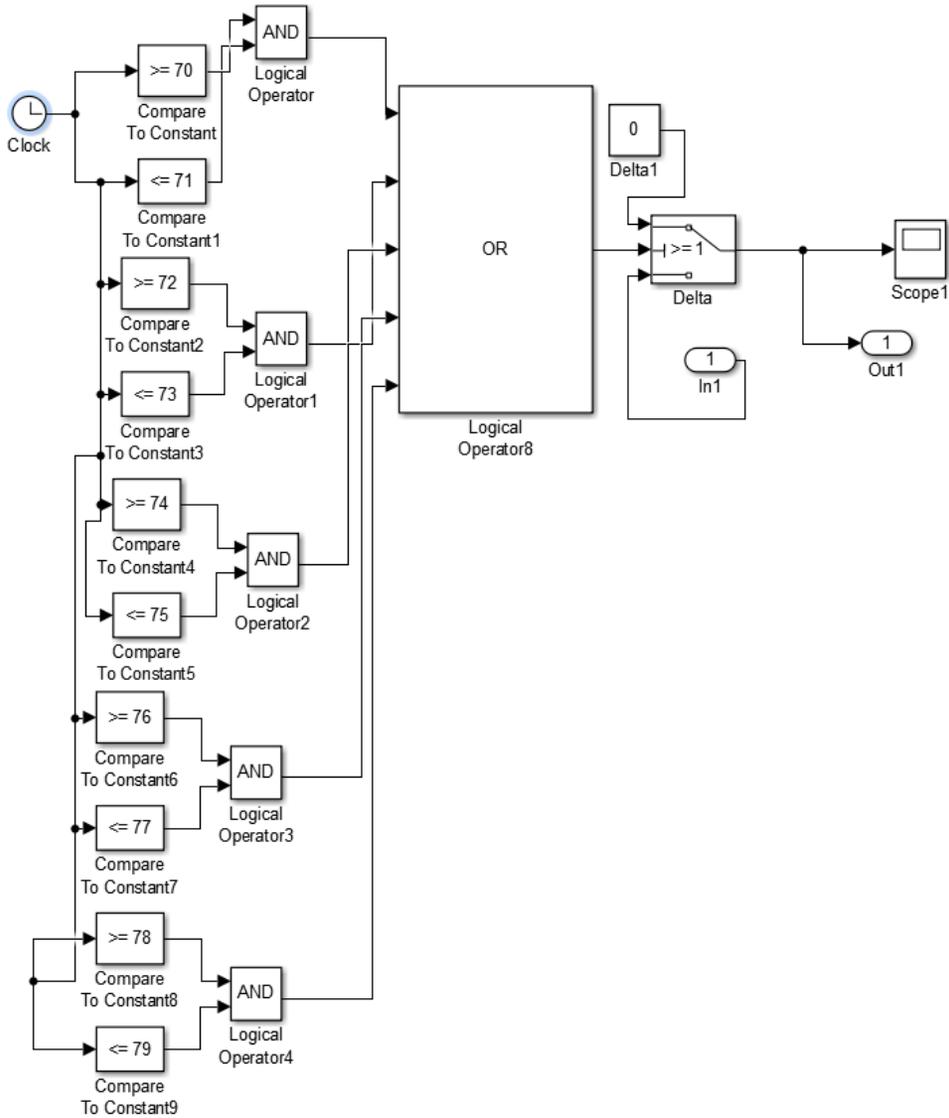
الشكل (6): مخطط التحكم المقترح.

تم اختبار قدرة المتحكم BELBIC علة التحكم بالنظام المدروس (رباعية المحرك) وذلك لقيادة الطائرة في مسار من النقطة (0,0,0) وحتى الوصول إلى النقطة (7,7,7) والاستقرار في المكان حتى نهاية زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية، ويظهر الشكل (7) استجابة النظام عند وجود المتحكم BELBIC مع زمن محاكاة 120 ثانية، إذ يظهر في الشكل الخطوط البيانية التي تعبر عن الدوال الست: السرعات الزاوية حول كل محور من الإطار O_{ABC} والمرمزة [P Q R] وزوايا أولر Euler [Phi Theta Psi] (الانعراج yaw، الانحراف pitch والالتفاف roll) ومكونات السرعة الخطية [U V W] بالنسبة إلى الإطار الثابت وموقع مركز الثقل [XYZ].



الشكل (7): استجابة النظام مع BELBIC.

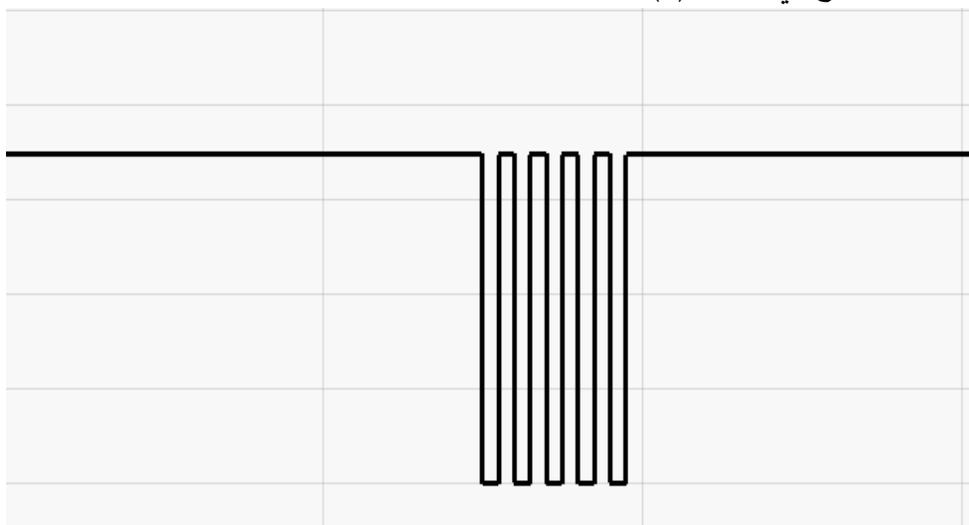
إذ نلاحظ من الشكل استقرار النظام باستقرار سرعته الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] ووصول مركز ثقله [XYZ] إلى الهدف المنشود.



الشكل (8): بنية الصندوق المسؤول عن عملية فقدان الحزم.

6-4- اختبار النظام عند التعرض إلى مشكلة فقدان الحزم:

قمنا بتعريض النظام إلى فقدان للحزم متقطع في فترة زمنية مقدارها 10 ثواني من خلال بناء صندوق في بيئة Simulink للقيام بهذه المهمة، ويبين الشكل (8) بنية الصندوق المسؤول عن عملية فقدان الحزم، حيث يتكون الصندوق من قاطعة تعمل بشكل متناوب على وصل وفصل الدخل مع الخرج، وبالتالي توصيل الرزم التي ترد في مرحلة الوصل وحذف الرزم التي تصل في مرحلة الفصل. تم وضع هذا الصندوق في التغذية العكسية لكل متحكم BELBIC بهدف ضياع جزء من الحزم في مسار التغذية العكسية لكل متحكم، فكان وصول الحزم المعبرة عن التغذية العكسية إلى المتحكمات كما هو موضح في الشكل (9)

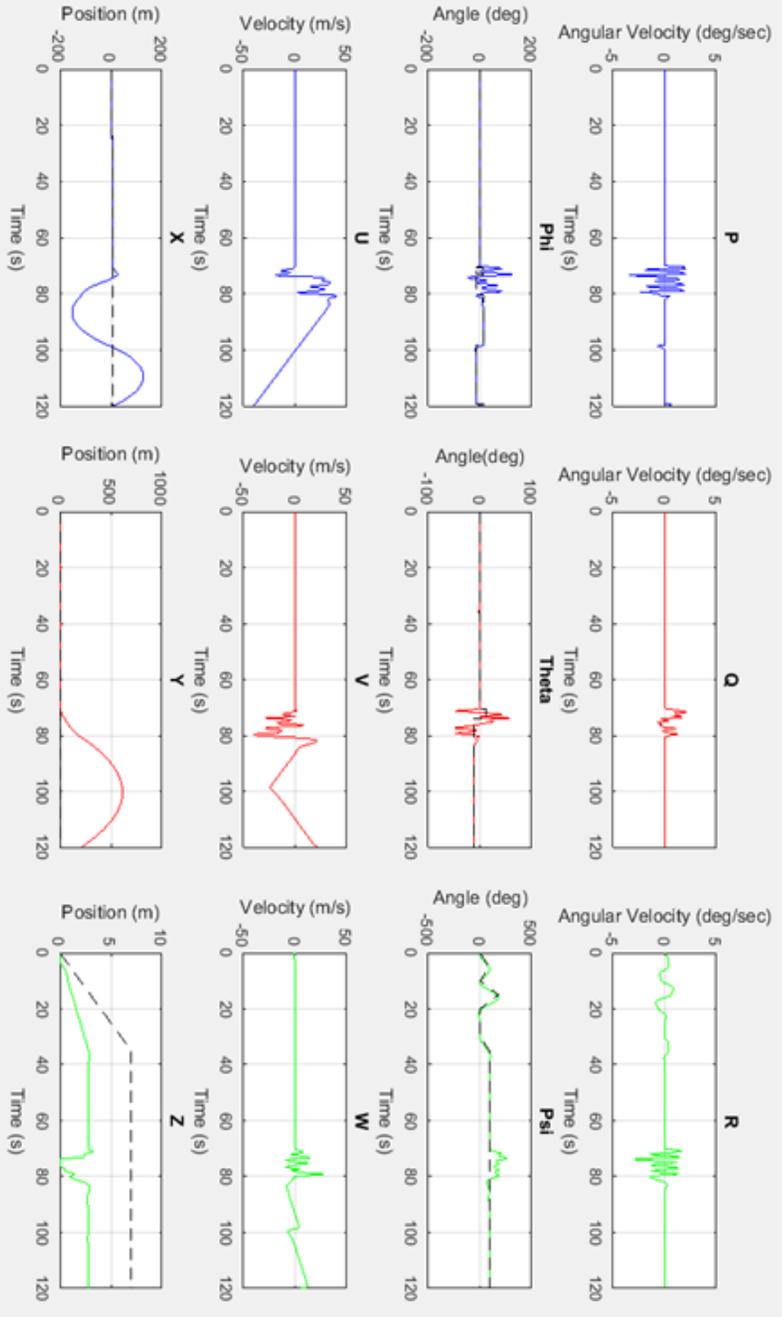


الشكل (9): الحزم التغذية العكسية الواصلة عند ضياع بعض الحزم.

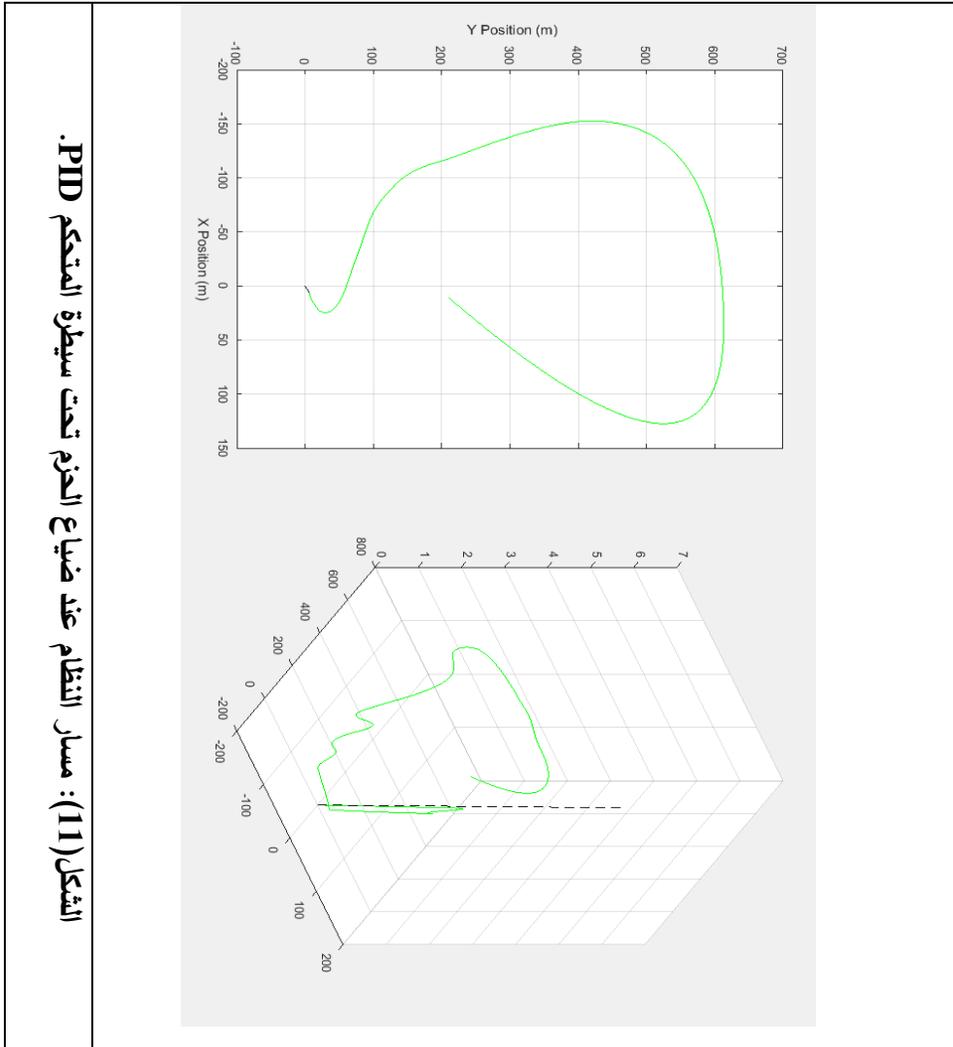
قمنا باختبار كل من المتحكم PID والمتحكم BELBIC عند تعريض النظام إلى مشكلة فقدان الحزم فحصلنا على النتائج التالية:

6-4-1- اختبار المتحكم PID:

قمنا بدراسة استجابة النظام عند تعرضه لفقدان في حزم التغذية العكسية بين اللحظات 70 و 80 من زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية فحصلنا على الاستجابة الموضحة في الشكلين (10) و(11).



الشكل (10): استجابة النظام عند ضياع الحزم تحت سيطرة المتحكم PID.

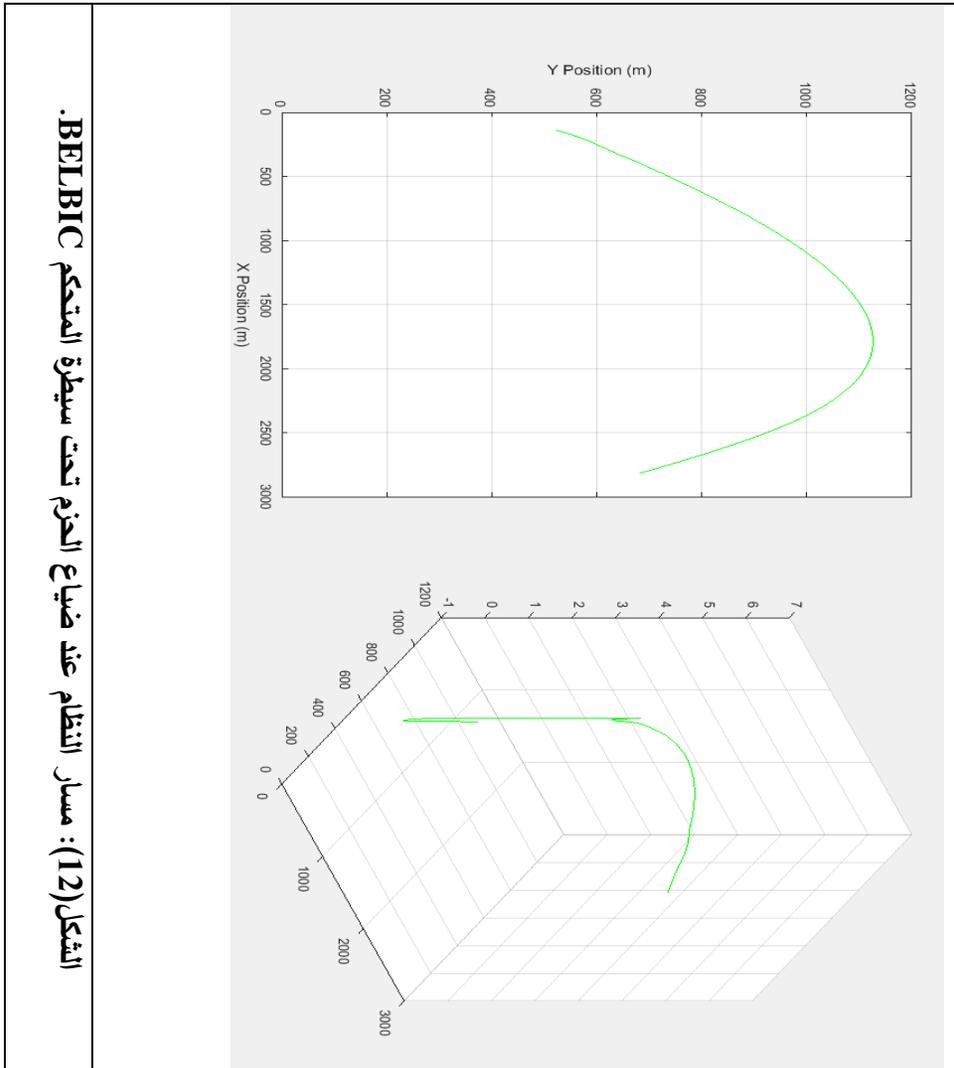


نلاحظ من الشكل (10) أن النظام أصبح غير مستقر حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] وعدم وصول مركز ثقله [XYZ] إلى الهدف المنشود. كما نلاحظ من الشكل (11) ضياع المسار بعد حصول ضياع في

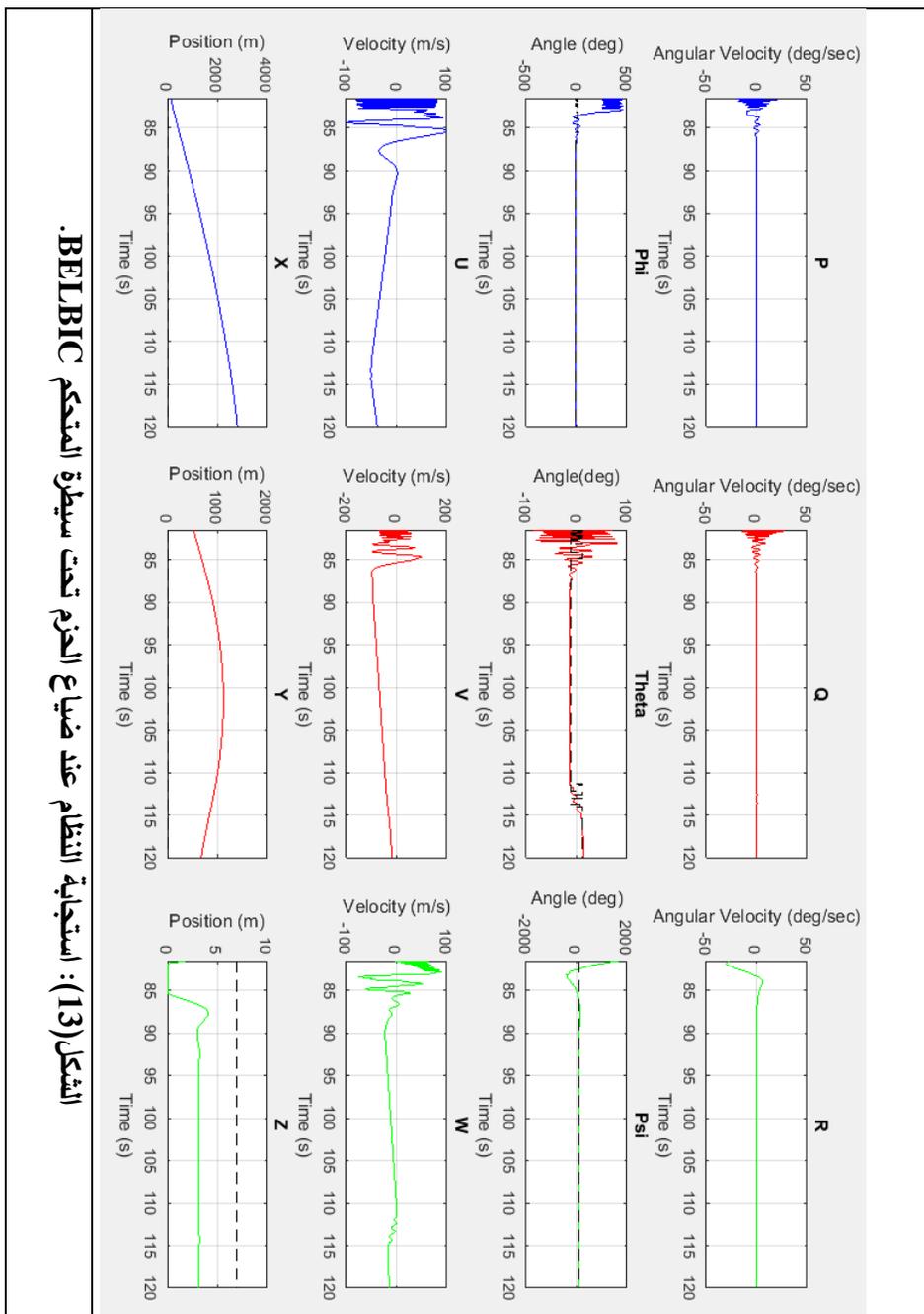
الحزم حيث نلاحظ أن مسار الطائرة (الخط المتواصل) لا ينطبق على المسار المطلوب (الخط المنقط) وعدم المحافظة على المسار المطلوب منه.

6-4-2- اختبار المتحكم BELBIC:

قمنا بدراسة استجابة النظام عند تعرضه لفقدان في حزم التغذية العكسية بين اللحظات 70 و 80 من زمن المحاكاة البالغ 120 ثانية فحصلنا على الاستجابة الموضحة في الشكلين (12) و (13).



الشكل (12): مسار النظام عند ضياع الحزم تحت سيطرة المتحكم BELBIC

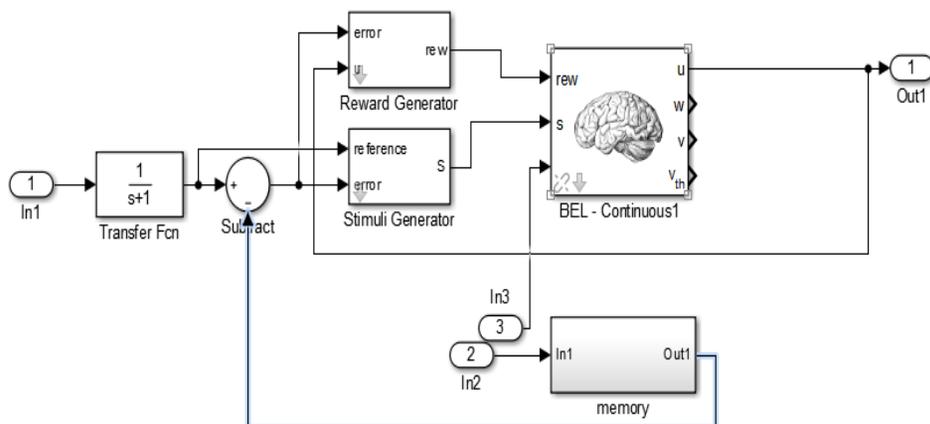


الشكل (13): استجابة النظام عند ضياع الحزم تحت سيطرة المتحكم BELBIC.

نلاحظ من الشكل (13) أن النظام أصبح غير مستقر حيث نلاحظ اهتزاز السرعات الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] وعدم وصول مركز ثقله [XYZ] إلى الهدف المنشود. كما نلاحظ من الشكل (12) ضياع المسار بعد حصول ضياع في الحزم حيث نلاحظ أن مسار الطائرة لا ينطبق على المسار المطلوب وعدم المحافظة على المسار المطلوب منه.

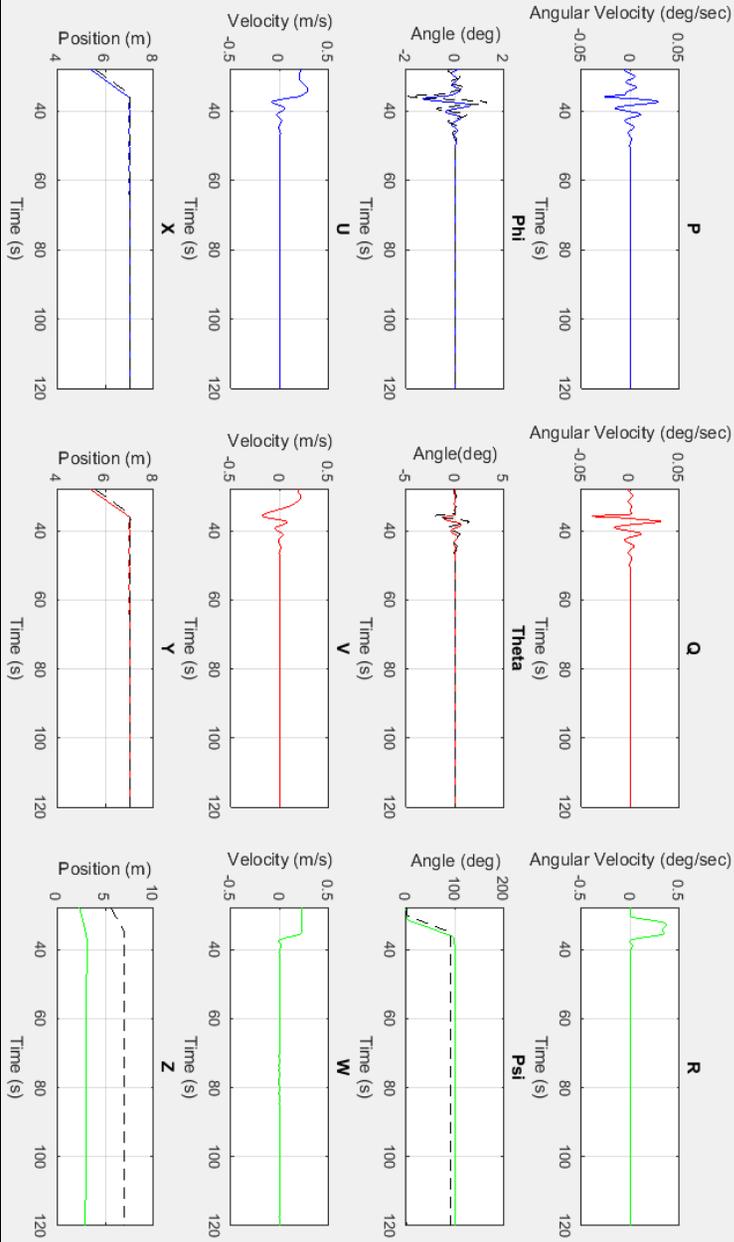
6-5 - تطوير بنية المتحكم BELBIC

قمنا بتطوير بنية المتحكم BELBIC من خلال إضافة وحدة مسئولة عن تذكر الحالات السابقة التي مر بها النظام حتى تستطيع تعويض الحزم المفقودة، يبين الشكل (14) بنية المتحكم BELBIC بعد إضافة الوحدة السابقة الذكر.

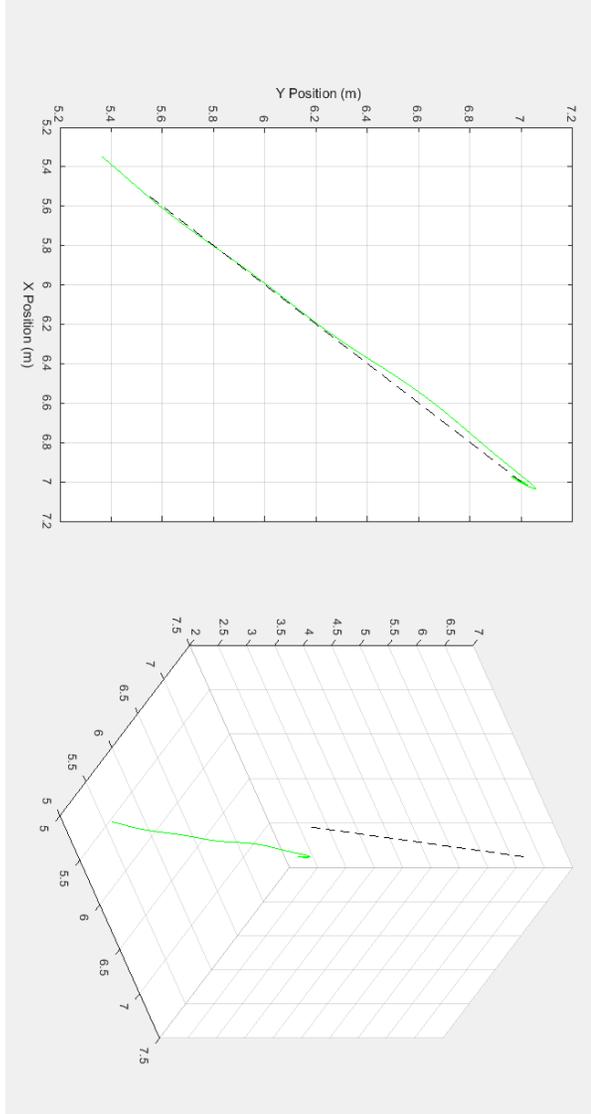


الشكل (14): بنية المتحكم BELBIC بعد التعديل.

قمنا بتطبيق هذه الوحدة من أجل المتحكمات الأربعة المذكورة في متن البحث ثم قمنا بدراسة استجابة النظام عند تعرضه لفقدان في حزم التغذية العكسية بين اللحظات 70 و 80 من المحاكاة البالغ 120 ثانية فحصلنا على الاستجابة الموضحة في الشكلين (15) و(16).



الشكل (15): استجابة النظام عند ضياع الحزم تحت سيطرة المتحكم BELBIC المعلة.



الشكل (16): مسار النظام عند ضياع الحزم تحت سيطرة المتحكم BELBIC المعدلة.

إذ نلاحظ من الشكل (15) استقرار النظام باستقرار سرعته الزاوية [P Q R] والسرعات الخطية [U V W] ووصول مركز ثقله [XYZ] إلى الهدف المنشود. كما نلاحظ من الشكل (16) حل مشكلة ضياع المسار بعد حصول ضياع في

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي

الحزم حيث نلاحظ أن مسار الطائرة ينطبق على المسار المطلوب والمحافظة على المسار المطلوب منه.

7- الاستنتاجات:

تم استخدام المتحكم BELBIC المعدل للتحكم في موقع ومسار الطائرة رباعية الدوار Quadcopter خلال تعرض الطائرة إلى ضياع في الحزم الراجعة على مسار التغذية العكسية للمتحكم وتمت مقارنة النتائج مع وحدة تحكم PID تقليدية مضبوطة جيداً ومع وحدة تحكم BELBIC تقليدية وقد أظهرت النتائج أداء جيد لتطبيق المتحكم BELBIC المعدل على الطائرة المذكورة.

بمقارنة نتائج البحث مع نتائج الأبحاث السابقة نجد أن المتحكم المعدل المقترح قد استطاع التغلب على مشكلة ضياع الرزم على الرغم من وجود زمن تأخير بسيط في الاستجابة ولكن زمن التأخير أقل من زمن التأخير الذي حصل عليه الباحث في [22] على الرغم من استخدامه لنموذج خطي للنظام. كما تم تعرض نظامنا إلى فترة ضياع رزم أكبر من الفترة التي تم تعريضها للنظام في [23] وبقي المتحكم محافظاً على الاستقرار على عكس المتحكم الذي اقترحه الباحث، إذ فقد النظام استقراره عند زيادة فترة التعرض لضياع الرزم.

8- التوصيات المستقبلية:

تم في هذا البحث دراسة تأثير فقدان الرزم على مسار التغذية العكسية للتحكم بنظام طائرة رباعية الدوار Quadcopter بتردد ثابت، من الممكن في الدراسات المستقبلية دراسة ضياع الرزم في كل من المسار الأمامي (من المتحكم إلى النظام) والمسار العكسي (من النظام إلى المتحكم) وتغيير تردد ضياع الرزم حتى ندرس مدى قدرة المتحكم على التغلب على مشكلة ضياع الرزم.

قائمة المراجع:

- [1] Wang, Y., Lim, C.C., Shi, P.: **Adaptively adjusted event-triggering mechanism on fault detection for networked control systems.** *IEEE Trans. Cybern.* **47**(8), 2299– 2311 (2017)
- [2] Yu, J., et al.: **Output feedback stabilisation of networked control systems via switched system approach.** *Int.J.Control* **82**(9), 1665– 1677 (2009)
- [3] Yang, H., et al.: **Stability analysis for high frequency networked control systems.** *IEEE Trans. Automat. Contr.* **57**(10), 2694– 2700 (2012)
- [4] Cheng, J., et al.: **Output-feedback control for fuzzy singularly perturbed systems: a nonhomogeneous stochastic communication protocol approach.** *IEEE Trans. Cybern* (2021).
- [5] Su, L., Chesi, G.: **Robust stability analysis and synthesis for uncertain discrete-time networked control systems over fading channels.** *IEEE Trans. Automat. Contr.* **62**(4), 1966– 1971 (2017)
- [6] Bu, X., Hou, Z.: **Stability of iterative learning control with data dropout via asynchronous dynamical system.** *Int. J. Autom. Comput.* **8**(1), 29– 36 (2011)
- [7] Chen, C., et al.: **Tracking performance limitations of MIMO networked control systems with multiple communication constraints.** *IEEE Trans. Cybern.* **50**(7), 2982– 2995 (2020)
- [8] Hu, Z., Deng, F.: **Robust H_∞ control for networked systems with transmission delays and successive packet dropouts under stochastic sampling.** *Int. J. Robust Nonlinear Control.* **27**(1)(2017)
- [9] Cai, H., et al.: **Robust model predictive control with randomly occurred networked packet loss in industrial cyber physical systems.** *J. Cent. South Univ.* **26**(7), 1921– 1933 (2019)
- [10] Xue, B., Yu, H., Wang, M.: **Robust H_∞ output feedback control of networked control systems with discrete distributed delays subject to packet dropout and quantization.** *IEEE Access.* **7**, 30313– 30320 (2019)
- [11] Ji, K., Kim, W.J.: **Stabilization of networked control system with time delays and data-packet losses.** *Eur. J. Control.*(2007)

- [12] Li, Q., et al.: **Stabilization of networked control systems using a mixed-mode based switched delay system method.** *IEEE/CAA J. Automat. Sin.* **5**(6), 1089– 1098 (2018)
- [13] B. Chang, G. Zhao, M. Imran, L. Li, and Z. Chen, 2018 **"Dynamic wireless QoS analysis for real-time control in URLLC,"** in *Proc. IEEE Globecom Workshops*, Dec., pp. 1_4.
- [14] Chow, M.Y., & Tipsuwan, Y., (2001). Network-based control systems: A tutorial. In Proceedings of IECON'01, the 27th...
- [15] S. Hu *et al.* **Stochastic optimal control and analysis of stability of networked control systems with long delay** *Automatica* (2003)
- [16] Hu, S., Yan, W.: **Stability robustness of networked control systems with respect to packet loss.** *Automatica.* **43**(7), 1243– 1248 (2007)
- [17] Li, J., Niu, Y.: **Output-feedback-based sliding mode control for networked control systems subject to packet loss and quantization.** *Asian J. Control.* **23**(1), 289– 297 (2019)
- [18] Yang, F., Han, Q.-L.: **H^∞ control for networked systems with multiple packet dropouts.** *Informat. Sci.* **252**, 106– 117 (2013)
- [19] Gao, J., Wu, H., Fu, M.: **Two schemes of data dropout compensation for LQG control of networked control systems.** *Asian J. Control.* **17**(1), 55– 63 (2015)
- [20] F. Yang, Q. Han, **H^∞ control for networked systems with multiple packet dropouts.** *Information Sciences* **252**, 106–117 (2013).
- [21] W. Zhang, J. Bae, M. Tomizuka, **Modified preview control for a wireless tracking control system with packet loss.** *IEEE/ASME Trans. On Mechatronics* **20**(1), 299–307 (Feb. 2015).
- [22] Z. Wang, S. Fukushima **Control strategy for networked control systems with time delay and packet dropout using linear matrix inequalities.** *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* (2020) 2020:42
- [23] E. Abdalla, H. Assal, and O. Hyde **fuzzy logic controller for networked control systems with packet losses,** *Proceeding of the 12-th ASAT Conference*, 29-31 May 2007.

- [24] Bara J. and A. Yesildirek(2013): **Nonlinear Composite Adaptive Control for Quadrotor**, American University of Sharjah, UAE.
- [25] D. V. Redrovan and D. Kim, 2018 "**Multiple quadrotors flight formation control based on sliding mode control and trajectory tracking**," 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Honolulu, HI.
- [26] C. Balkenius, J. Moren. Emotional Learning: 2001 "**A Computational Model of the Amygdala**". Cybernetics and Systems: An International Journal, Vol. 32, pp. 611-636.
- [27] S. Klecker, P. Plapper, 2019 "**BELBIC-Sliding mode control of robotic manipulators with uncertainties and switching constraints**", Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE).

تصميم متحكم ذكي معتمد على التحفيز الدماغي لحل مشكلة فقدان الحزم في نظم التحكم في الزمن الحقيقي