



Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı PI-PD ile Twin Rotor Denetimi

Cuma Anıl TAKEŞ*

Diyarbakır Sosyal Güvenlik İl Müdürlüğü, İnşaat-Emlak Kontrol Şefliği, Diyarbakır
cumaaniltakes@gmail.com, Tel: (412) 224 39 35 (1379)

Fadi ALYOUSSEF

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280
eng.fadialyousef@hotmail.com, Tel: (412) 241 10 00 (3508)

İbrahim KAYA

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, 21280
ikaya@dicle.edu.tr, Tel: (412) 241 10 00 (3508)

Geliş: 03.04.2019, Kabul Tarihi: 20.05.2019

Öz

Bu çalışmada, helikopter sistemleri ve son zamanlarda üzerinde oldukça sık çalışılan drone sisteminin temeli olan Twin Rotor MIMO Sistem (TRMS)'nin kontrolü üzerinde çalışılmıştır. TRMS kontrol alanında kullanılan temel sistemler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, günlük hayatta sağlık, askeri, ulaşım, yangın anında yangına müdahale amacıyla kullanılan helikopterler bu amaçlarla kullanılırken bir yerden başka bir yere ulaşması anında havada belli bir irtifada iken ve kalkış ve iniş anında içerisinde bulunan bireylerin ve taşınan önemli ekipmanların zarar görmemesi için kontrol işlemlerinin çok iyi yapılması ve istenilen kontrol sinyaline sistem cevabının oldukça hızlı olması gerekmektedir. Sistem cevabındaki aksaklıklar ve denetleyicinin istenilen şekilde çalışmaması hava araçlarında kazalara ve böylece can ve mal kayıplarına sebebiyet verebilir. Literatürde TRMS'nin denetimi çoğunlukla PID denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ancak PID denetleyiciler açık çevrim kararlı sistemler hariç yetersiz performans gösterebilmektedir. PI-PD denetleyiciler ise, PID denetleyicilerin yetersiz kaldığı durumlarda, çok daha iyi performans verebilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada TRMS'nin kontrolü PI-PD denetleyiciler kullanılarak gerçekleştirilmiş ve PID denetleyicilerden daha iyi kapalı çevrim cevaplar elde edildiği benzetim ve gerçek zamanlı uygulama ile gösterilmiştir. Hem PID hem de PI-PD denetleyicinin ayar parametreleri Parçacık Sürü Optimizasyonu ile ISTE kriterine göre hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PID, PI-PD, TRMS, MIMO, PSO (Particle Swarm Optimization), Kararsız Sistemler

* Yazışmaların yapılacağı yazar:

DOI: 10.24012/dumf.548629

Giriş

Bu çalışmada literatürde üzerinde sık sık çalışılan, Çok Girişli-Çok Çıkışlı (ÇGÇÇ) bir sistem olan Feedback firmasının üretmiş olduğu Twin Rotor Multi-Input Multi-Output (MIMO) Sistemin (TRMS)denetimi üzerinde çalışılmıştır (Feedback Instruments Ltd.). Twin rotor karmaşık bir sistem olan helikopter sistemlerinin basitleştirilmiş bir modelidir.

Literatürde TRMS ile ilgili oldukça fazla sayıda çalışma yayınlanmıştır. Juang, Lin ve Liu (2008) var olan klasik kontrol tasarımları ile akıllı kontrol tasarımlarının TRMS denetimindeki kıyaslamasını vermiştir. Ramalakshmi ve Manoharan (2012) çalışmalarında TRMS'nin Simülasyon ortamında PID denetleyici ile kontrolü üzerinde çalışmışlardır.

Mahmoud, Marhaban ve Hong (2009) ANFIS (Uyarlamalı Sinirsel Çıkarım Sistemi) ve FSCM (Bulanık Eksiltici Kümeleme Yöntemiyle) ile tasarlanmış FLC (Bulanık Mantık Kontrolör) ile TRMS'nin kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Liu ve Juang (2009) tek nöron PID kontrolörü kullanarak Twin Rotor'u kontrol etmişlerdir. Toha vd.(2009) TRMS'nin dinamik yayılma faktörlü Parçacık Sürü Optimizasyona dayanarak parametrik modelleme yaklaşımını çalışmışlardır. Subudhi ve Jena (2009) Twin Rotor Sisteminin Nöral ağ yaklaşımıyla sistem tanımlamasını ele almışlardır. Toha ve Tokhi (2010) çalışmalarında TRMS modellemesini ANFIS-PSO kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ayırıştırma Modelleme ve Optimal kontrol önermesini yapan Wen ve Li (2011) TRMS'nin bu yöntemle kontrolünü sağlamışlardır. Pratap (2012) TRMS'nin denetimini Nöro Kayma Kipli denetleyici ile denetlemeye dönük bir çalışma yapmıştır. Allouani, Boukhetala, Boudjema (2012) TRMS ile ilgili Merkezless Bulanık Kaydırma Modu kontrolünün (FSMC) kayan yüzey sabitleri PSO üyelik fonksiyonları yardımıyla optimizasyonu üzerinde üzerinde çalışmışlardır. Silva vd. (2014) Twin Rotor Mimo Sistem Modellemesi için eNFN (Gelişen

Sinirsel Bulanık Ağ) yaklaşımı kullanmışlardır. Biswas vd. (2014) PSO tabanlı PID ile Twin Rotor Mimo Sisteminin kontrolünü çalışmışlardır. Deniz vd. (2015) yaptıkları çalışmada yapay sinir ağları ile TRMS'nin kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Saha ve Chakraborty (2016) yaptıkları çalışmada TRMS için Genetik tabanlı I-PD kontrolör tasarlayarak denetim yapmışlardır. TRMS modellemesinin genetik algoritma yardımıyla yapıldığı bir çalışma Huu ve Ismail (2016) tarafından verilmiştir. Pandey, Dey ve Banerjee (2017) Kharitonow kararlılık teoremiyle tasarladıkları PID ile TRMS kontrolünü çalışmışlardır. Bouarroudj vd. (2017) TRMS'nin kontrolü için merkezi olmayan bir bulanık mantık kayma modu (DFLSM) stratejisine dayanan değişken yapıli denetleyicinin optimizasyonu üzerinde durmuşlardır. Neeraj ve Seema (2018) TRMS'nin kontrolüne ilişkin PSO, SFPSO (Dinamik Yayılma Faktörlü PSO) ve NMS (Nelder Mead Simplex) PSO optimizasyonları arasında en iyi kontrolörü bulma üzerinde karşılaştırmalar yapmıştır.

Çalışmanın geri kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir: Parçacık Sürü Optimizasyonu kısmında bu optimizasyonla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Twin Rotor MIMO Sistemin yapısı ve modellenmesi kısmında Twin Rotorun Yapısı ve yapılan modelleme işlemi verilmiştir. PI-PD Denetleyiciler kısmında PI-PD denetleyicilerle ilgili temel bilgiler verilmiştir. PI-PD ve PID Denetleyici Ayar Parametrelerinin Hesaplanması kısmında PSO ile tasarımı yapılan PI-PD ve PID ayar parametreleri verilmiştir. Sonuçlar kısmında, Twin Rotor sisteminin gerçek zamanda ve simülasyon ortamındaki PI-PD ve PID ile denetim uygulama sonuçlarına ait grafikler verilmiştir.

Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO)

Parçacık Sürü Optimizasyonu sürü halinde hareket eden hareket eden balık, karınca, arı, böcek ve kuşlardan yola çıkılarak Kenedy ve Eberhart (1995) tarafından tasarlanan bir optimizasyon yöntemidir.

PSO sürü mantığını temel alan bir algoritmadır. Sürü mantığı ile davranan sürü üyesi hayvanlar; yiyecek, güvenlik, uygun sıcaklık, yaşam alanı, iklim ve ekosisteme uygun yaşam gibi durumlara, zamanlarının büyük çoğunluğunda rastgele sergiledikleri hareketler ile ulaşırlar. Yukarıda bahsedilen durumlara, sürü üyesi hayvanların sürü mantığı ile daha kolay ulaştıkları yapılan incelemeler sonucunda anlaşılmıştır (Kenedy ve Eberhart, 1995).

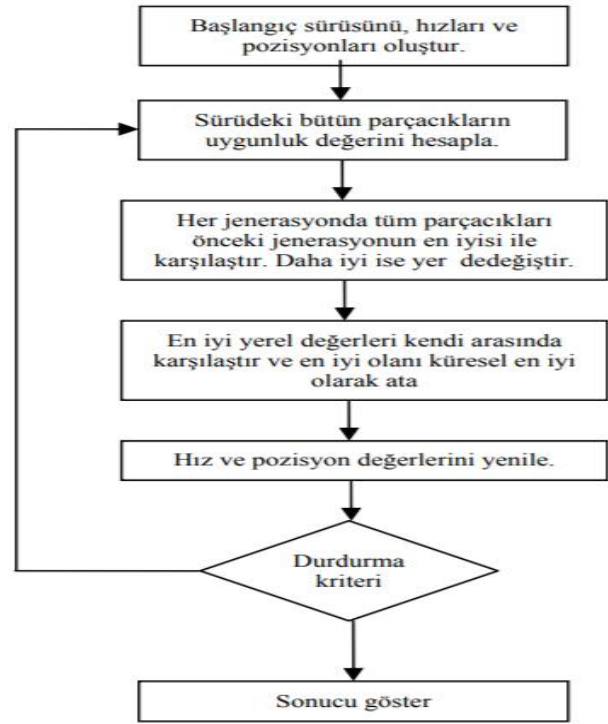
Parçacık Sürü Optimizasyonu; sürüye ait her bir bireyin bir sonraki bireye bilgi aktarması esasına dayanır. Bu durum, bir bireyin sürünün tamamını etkileyerek istenen amaca daha kolay ulaşılmasını sağladığı görülmüştür (Kenedy ve Eberhart, 1995).

Bu optimizasyonun amacı sürü bireyleri içerisinde şartları en iyi olan bireyin yerinin tespit edilerek diğer bireylerin de (parçacık) o yöne doğru hareketinin sağlanmasıdır. Parçacıklar bulunan bir önceki en iyi konumundan daha iyi en iyi şartlara sahip bir konum bulunduğunda sürü hareketi o yöne doğru kaydırılır ve böylece bu döngü sürü içerisindeki birey sayısı ve her bireyin yapması gereken tekrar sayısı tamamlanincaya kadar devam eder (Kenedy ve Eberhart, 1995).

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur (Kenedy ve Eberhart, 1995):

- 1) Rastgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
- 2) Sürü içerisindeki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır.
- 3) Her birey için işlem görülen jenerasyondan yereldeki mevcut en iyi birey bulunur. Sürü içerisindeki en iyilerin sayısı parçacık sayısı ile aynıdır.
- 4) O anda işlem görülen jenerasyondaki yerel mevcut en iyi bireyler içerisinde küresel en iyi global en iyi birey seçilir.
- 5) Pozisyon ve hızlar yenilenir.

Parçacık sürü optimizasyonu temel döngüsü Şekil 1'de verilmiştir (Kenedy ve Eberhart, 1995).



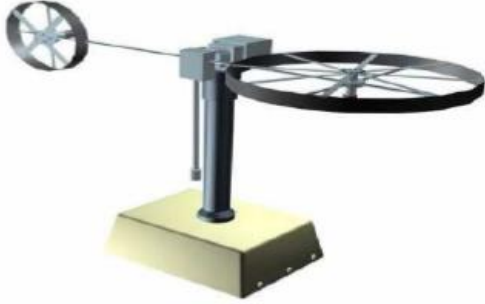
Şekil 1. Parçacık Sürü Optimizasyonu temel döngüsü.

Twin Rotor MIMO Sistem ve Modellenmesi

TRMS, ana rotor ve kuyruk rotor olmak üzere iki adet rotora sahiptir; ana rotor sistemin dikey yön hareketini sağlarken kuyruk rotoru ise yatay yön hareketini sağlamaktadır. Sahip olduğu bu yapı helikopter sistemi çalışma prensiplerine benzer şekilde çalışmaktadır, fakat helikopter ile mukayese edilince bazı önemli sadeleştirmeler yapıldığı gözlemlenir. TRMS'de dört ana donanım vardır: bunlardan ilk ikisi aktif kısımları oluşturan ve yukarı-aşağı hareketi sağlayan ana rotor (pitch rotor) ile sağa-sola hareketi sağlayan kuyruk rotor (yaw rotor) parçalarıdır. Üçüncü ve dördüncü kısımlar ise, kontrol edilmesi gereken aktif kısımların hareketi sırasında sistemin dengede kalmasını sağlayan karşı ağırlık (counterbalance) ve rotorların düşey ve yatay yönde hareketini sağlayan mili tutan gövde kısmıdır. TRMS iki

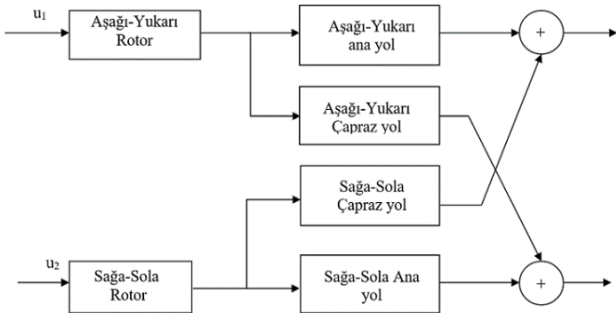
adet giriş (rotorlara verilen gerilimler) ve 2 adet çıkış (dikey-yatay açı ve açısal hız) ile kontrol edilir (Feedback Instruments Ltd.).

Denetimi üzerinde çalışılan Feedback firmasının TRMS mekanik ünitesi Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Feedback Firmasına ait TRMS mekanik ünite

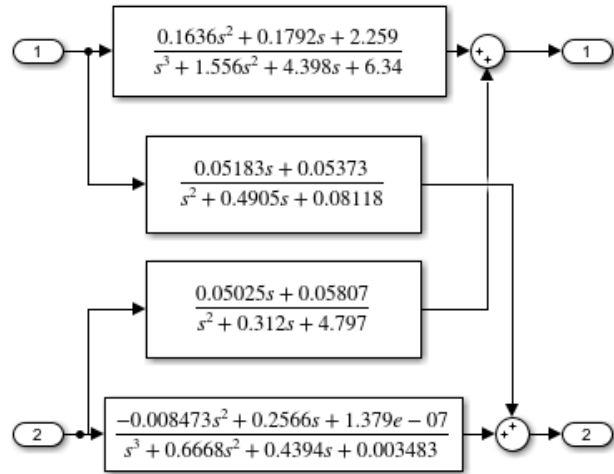
TRMS’nin Şekil 2’de verilen mekanik ünitesinin blok diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. TRMS'nin basitleştirilmiş sistem şeması

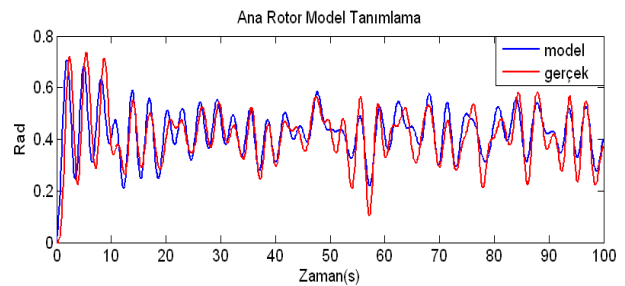
TRMS deney seti içerisinde bulunan PIC 1711 kurulum CD’si içinde yer alan 33-949 TRMS Simulink Models Programı ve Matlab/Simulink Identification Toolbox yardımıyla sisteme ait modelleme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler yapılırken sistemi en iyi ifade eden transfer fonksiyonunu bulmak için tanımlama işlemi bir çok kez tekrarlanmıştır. Sistem tanımlama işlemi sırasında ana rotor, kuyruk rotor tanımlamaları yapıldıktan sonra çapraz yöndeki hareketler olan çapraz kuyruk ve çapraz ana rotor tanımlamaları yapılmıştır. Tanımlama işlemleri sonucunda bulunan transfer

fonksiyonları Şekil 4’te yer alan TRMS blok diyagramında gösterilmiştir. Transfer fonksiyonunda yer alacak sıfır ve kutup sayıları denem ve yanılma ile belirlenip elde edilen transfer fonksiyonları ile gerçek sistem çıkışları karşılaştırılmış ve en iy cevap elde edilene kadar denemeler tekrarlanmıştır.



Şekil 4. TRMS blok diyagramı

Bulunan transfer fonksiyonunun gerçek sistemi modelleme düzeyi incelenirken farklı genlik ve farklı frekanslardaki sinüzoidal sinyallerden oluşan girişler elde edilen transfer fonksiyonu ile verilen model ve gerçek sisteme uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

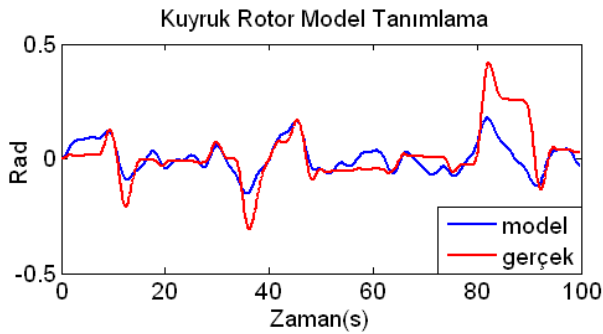


Şekil 5. Ana rotor model çıkış sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Şekil 5’te, farklı genlik ve frekanslardaki sinüzoidal sinyallerden oluşan girişin, ana rotor için bulunan transfer fonksiyonu ile gerçek sisteme uygulanması ile elde edilen çıkış

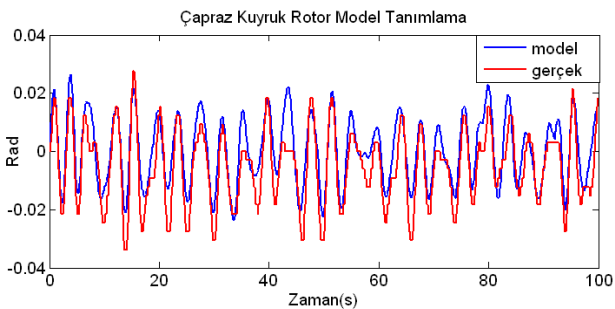
sinyalinin karşılaştırılması verilmiştir. Şekilden, elde edilen model ile gerçek sistem çıkışlarının birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmektedir.

Kuyruk rotor için elde edilen transfer fonksiyonu ile gerçek sistemin çıkış sinyalinin karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden, elde edilen transfer fonksiyon modeli ile gerçek sistem çıkışlarının birbirleriyle yeterince uyumlu oldukları görülmektedir.

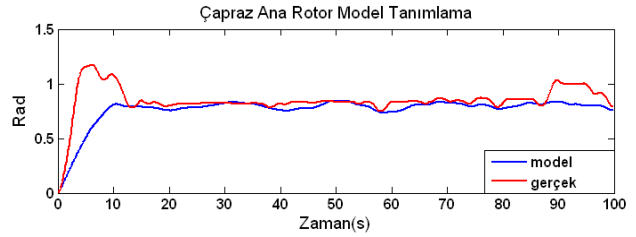


Şekil 6. Kuyruk rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Elde edilen çapraz yol kuyruk açısı ile çapraz yol ana rotor transfer fonksiyonlarının sistemi modellemedeki yeterlilikleri, sırasıyla, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Her iki şekilden, elde edilen çapraz yol kuyruk açısı ile çapraz yol ana rotor transfer fonksiyonlarının çıkışlarının gerçek sistem çıkışları ile oldukça iyi bir şekilde örtüşükleri görülmektedir.



Şekil 7. Çapraz-kuyruk rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

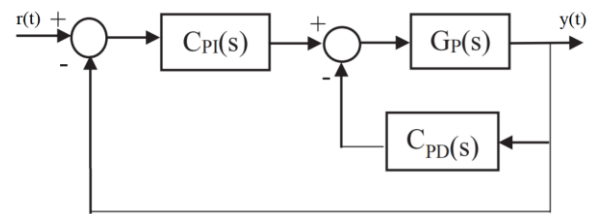


Şekil 8. Çapraz-ana rotor model sinyalinin simülasyon ve gerçek zaman ortamında karşılaştırılması

Sonuç olarak, Feedback Inc. firmasının TRMS deney setini modellemek için elde edilen transfer fonksiyonlarının sistemi kontrol etme amaçlı olarak kullanılabilirliği görülmektedir.

PI-PD Denetleyici

Geleneksel PID kontrol algoritmasında oransal, integral ve türev ileri yol üzerinde yer almaktadır. PID denetleyici yapısında ileri yol üzerindeki türev alıcı türev tepmesi olarak adlandırılan ve uygulamada istenmeyen bir olguya yol açabilir. Ayrıca, iç geri besleme döngüsüne eklenen PD denetleyici kararlı bir sistemi kararlı hale getirmede kullanılabilir ve ileri yolda yer alan PI denetleyici ile daha etkin bir kontrol gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla, bu çalışmada, PI-PD yapısı ile TRMS'nin gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. PI-PD denetleyici yapısı Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. PI-PD denetleyici kontrol yapısı

Bu yapıda, $G_P(s)$ kontrol edilen sistemin transfer fonksiyonu, $C_{PI}(s)$ ve $C_{PD}(s)$, sırasıyla, PI ve PD denetleyici transfer fonksiyonlarını ifade etmektedir. Aşağıdaki bağıntılarda, sırasıyla, PI ve PD denetleyicilere ait ideal transfer fonksiyonları verilmiştir.

$$G_{PI}(s) = K_c (1 + 1/T_i s) \quad (1)$$

$$G_{PD}(s) = K_f (1 + T_f s) \quad (2)$$

PI-PD ve PID Denetleyici Ayar Parametrelerinin Hesaplanması

Sistem tanımlama işlemlerinden sonra PI-PD ayar parametrelerinin PSO yardımıyla bulunması üzerinde çalışılmıştır. Bu ayar parametreleri bulunurken sürü içerisindeki birey sayısı 80, iterasyon sayısı 550, eylemsizlik momentumu 0.9, kavrama parametresi 0.12 ve sosyal parametre ise 1.2 olarak kullanılmıştır. PSO algoritmasında amaç fonksiyonu olarak ISTE (Integral Squared Time Error) kriteri kullanılmıştır:

$$ISTE = \int_0^{\infty} t^2 e(t)^2 dt \quad (3)$$

Ana rotor ve kuyruk rotorun denetimini sağlayacak 2 adet PI-PD denetleyicinin ayar parametreleri olan K_{c1} , T_{i1} , K_{f1} , T_{f1} , K_{c2} , T_{i2} , K_{f2} , T_{f2} için 8 adet bilinmeyen sayısı kullanılarak PSO algoritması Matlab üzerinde çalıştırılmıştır. Optimizasyon sonucu bulunan her iki PI-PD denetleyiciye ait ayar parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda, PSO algoritmasının denetleyicilere ait ayar parametrelerinin arama uzayı da verilmiştir.

Tasarlanan PI-PD denetleyicilerin performansı, hem ana rotor hem de kuyruk rotor denetiminde kullanılan ve transfer fonksiyonu $G_c(s) = K_p + K_i/s + K_d s$ ile verilen PID denetleyici ile karşılaştırılmıştır. Adil bir karşılaştırma için, PI-PD optimizasyonunda kullanılan PSO parametrelerinin aynıları PID optimizasyonunda da kullanılmıştır. Ana rotor ve kuyruk rotorun denetimini sağlayacak 2 adet PID denetleyicinin ayar parametreleri olan K_{p1} , K_{i1} , K_{d1} , K_{p2} , K_{i2} , K_{d2} için 6 adet bilinmeyen sayısı kullanılarak PSO algoritması Matlab üzerinde çalıştırılmıştır. Hesaplanan ayar parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo, ayar parametrelerinin arama uzayını da vermektedir.

Sonuçlar

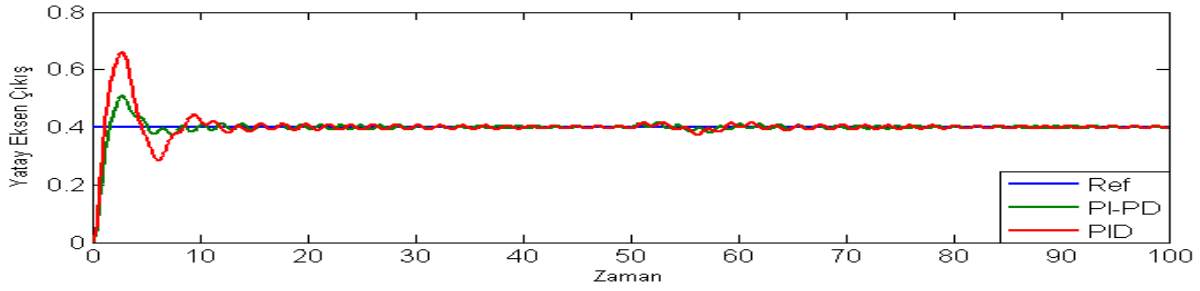
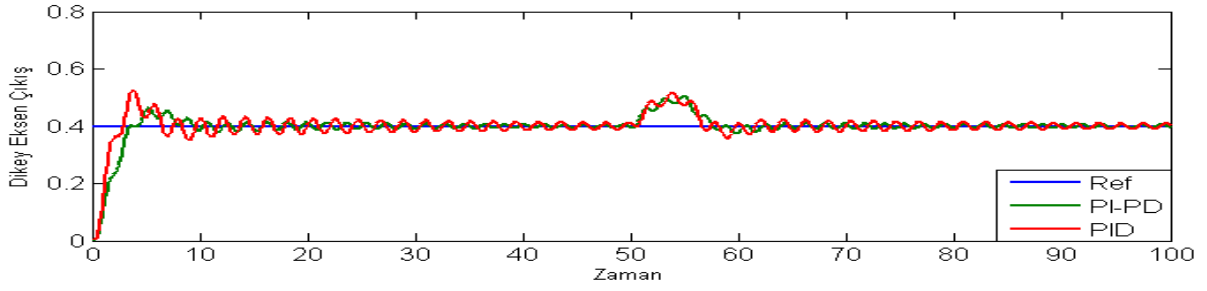
Hesaplanan denetleyici ayar parametreleri kullanılarak Twin Rotor Sistemi hem simülasyon hem de sistem üzerinde gerçek zamanlı çalıştırılmıştır ve elde edilen sonuçlar Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir. PI-PD ile PID denetleyici performansları karşılaştırıldığında, PI-PD denetleyicinin PID denetleyiciye göre daha az aşım verdiği hem simülasyon hem de gerçek zamanlı uygulamadan görülmektedir. Yine, PI-PD denetleyici ile sistem cevabının daha kısa zamanda oturduğu gözlenmektedir. Şekillerde, TRMS kontrol sistemine $t=50$ s’de ana rotora 0.08 radyanlık bir bozucu sinyalin uygulanmasına karşılık PID ve PI-PD denetleyicilerin performansları da verilmiştir. Bozucu sinyalin 0.08 radyan seçilmesinde, sistemin giriş geriliminin -2.5 V ve +2.5 V sınırlarında çalışma şartları göz önüne alınmış ve deney setinin çalışma şartlarından daha yüksek gerilim oluşmasıyla zarar görmesinin önüne geçilmiştir. Bozucu sinyallerin etkisinin bastırılmasında PID ve PI-PD denetleyicilerin birbirine yakın performans sergiledikleri gözlenmektedir.

Tablo 1.PI-PD denetleyici ayar parametreleri

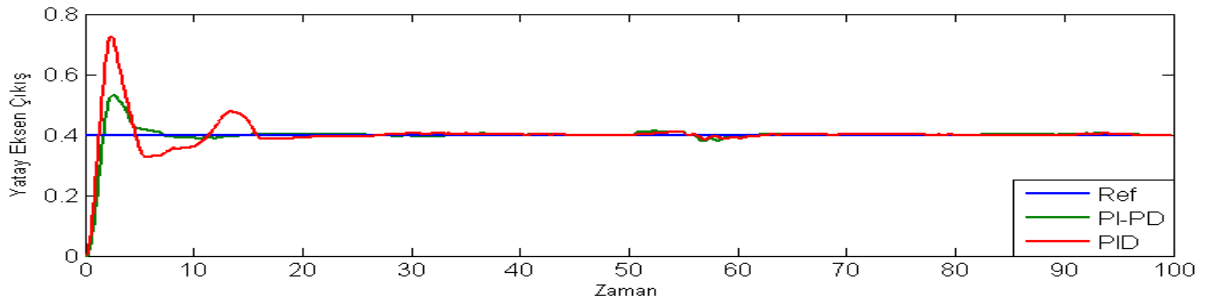
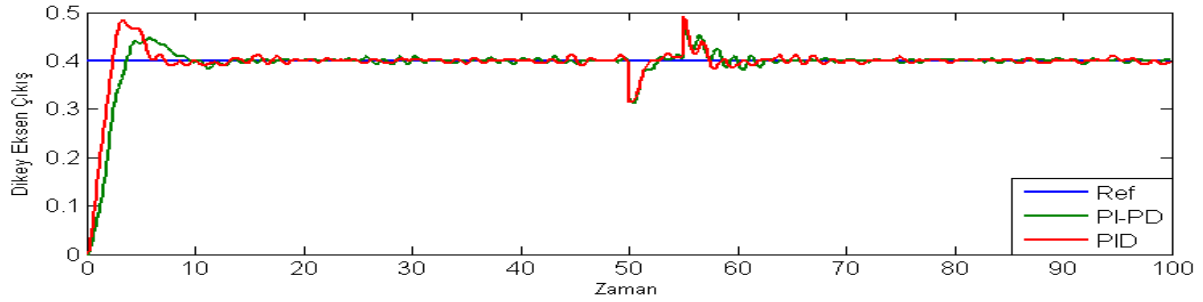
Parametreler		En İyi Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikey Rotor	K_{c1}	1.56	0.01	5.0
	T_i	0.6	0.01	5.0
	K_f	1.46	0.01	5.0
	T_f	3.26	0.01	5.0
Yatay Rotor	K_c	3.07	0.01	5.0
	T_i	0.71	0.01	5.0
	K_f	3.20	0.01	5.0
	T_f	1.25	0.01	5.0

Tablo 2.PID denetleyici ayar parametreleri

Parametreler		En İyi Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikey Rotor	K_p	2.06	0.01	5.0
	K_i	3.21	0.01	5.0
	K_d	3.23	0.01	5.0
Yatay Rotor	K_p	4.79	0.01	5.0
	K_i	4.58	0.01	5.0
	K_d	4.70	0.01	5.0



Şekil:10 Simülasyon Ortamı Dikey ve Yatay Eksen Çıkışları



Şekil:11 Gerçek Zaman Ortamı Dikey ve Yatay Eksen Çıkışları

Teşekkür

Bu çalışma, Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından MÜHENDİSLİK.18.004 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

Allouani, F., Boukhetala, D., & Boudjema, F. (2012). Particle swarm optimization based fuzzy sliding mode controller for the Twin Rotor MIMO system. *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference -*

- MELECON*, 1063–1066.
- Biswas, P., Maiti, R., Kolay, A., Das Sharma, K., & Sarkar, G. (2014). PSO based PID controller design for twin rotor MIMO system. *International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, CIEC 2014*, 56–60.
- Bouarroudj, N., Djari, A., Boukhetala, D., & Boudjema, F. (2017). Tuning of decentralized fuzzy logic sliding mode controller using PSO algorithm for nonlinear Twin Rotor MIMO System. *2017 6th International Conference on Systems and Control, ICSC 2017*, 45–50.
- Dang Huu, T., & Ismail, I. B. (2016). Modelling of Twin Rotor MIMO system. *2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*, 1–6.
- Deniz, M., Bidikli, B., Bayrak, A., Ozdemirel, B., & Tatlicioglu, E. (2015). Modelling twin rotor system with artificial neural networks | Cift Rotorlu Sistemin Yapay Sinir Aglarl Ile Modellenmesi. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2015 - Proceedings*, 0–3.
- Figure, P. C., Yang, X., Cui, J., Lao, D., Li, D., Chen, J., ... Bonvin, D. (2017). Twin Rotor MIMO System Control Experiments. *ISA Transactions*.
- Juang, J. G., Lin, R. W., & Liu, W. K. (2008). Comparison of classical control and intelligent control for a MIMO system. *Applied Mathematics and Computation*.
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks Vol. IV: 1942–1948*.
- Liu, T. K., & Juang, J. G. (2009). A single neuron PID control for twin rotor MIMO system. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 186–191.
- Mahmoud, T. S., Marhaban, M. H., Hong, T. S., & Ng, S. (2009). ANFIS controller with fuzzy subtractive clustering method to reduce coupling effects in Twin Rotor MIMO system (TRMS) with less memory and time usage. *Proceedings - International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2009*, 19–23.
- Neeraj, P. J., & Seema, P. N. (2018). Control of Twin Rotor MIMO System Using Cross PID Control Technique. *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2018*.
- Pandey, S. K., Dey, J., & Banerjee, S. (2017). Design and real-time implementation of robust PID controller for Twin Rotor MIMO System (TRMS) based on Kharitonov's theorem. *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016*, 1–6.
- Pratap, B. (2012). Neuro sliding mode controller for twin rotor control system. *2012 Students Conference on Engineering and Systems, SCES 2012*, 9–13.
- Ramalakshmi, S., & Manoharan, S. (2012). Non-linear Modeling and PID Control of Twin Rotor MIMO System of Electrical & Electronics Engineering, Thiagarajar College of Engineering, Madurai. *IEEE International Conference on Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, (978), 366–369.
- Saha, A., & Chakraborty, S. (2016). Genetic algorithm based I-PD controller design for Twin Rotor MIMO system. *2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication, CIEC 2016*.
- Silva, A., Caminhas, W., Lemos, A., & Gomide, F. (2015). Real-time nonlinear modeling of a twin rotor MIMO system using evolving neuro-fuzzy network. *IEEE SSCI 2014 - 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence - CICA 2014: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation, Proceedings*.
- Subudhi, B., & Jena, D. (2009). Nonlinear system identification of a twin rotor MIMO system. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 1–6.
- Toha, S. F., Abd Latiff, I., Mohamad, M., & Tokhi, M. O. (2009). Parametric modelling of a TRMS using dynamic spread factor particle swarm optimisation. *11th International Conference on Computer Modelling and Simulation, UKSim 2009*.
- Toha, S. F., & Tokhi, M. O. (2010). ANFIS modelling of a twin rotor system using particle swarm optimisation and RLS. *2010 IEEE 9th International Conference on Cybernetic Intelligent Systems, CIS 2010*.
- Wen, P., & Li, Y. (2011). Twin rotor system modeling, de-coupling and optimal control. *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011*, 1839–1842.

Partical Swarm Optimization based PI-PD Control of a Twin Rotor

Extended Abstract

As it is known, the helicopters are used for many daily life applications such as health, military, transportation and firefighting. In fact, the response of control system has to be very fast to meet the requirements of high performance. Otherwise, a weakly designed control system can lead to accidents of the helicopter and thus loss of life and property.

In this paper, PSO based PI-PD was designed for controlling pitch and yaw angles of Twin Rotor MIMO System (TRMS). TRMS is a nonlinear dynamic which is similar to a helicopter system. In fact, TRMS has two rotors located on the both ends of a beam known as pitch rotor and yaw rotor. The two rotors are led by two DC motors which are equipped with two tachometers for measuring the speed of DC motors. A tower is also used for carrying the mechanical components. As well, I/O card is used for applying control signals on the TRMS and receives the measured signals. Two inputs, represent the position of beam, are used for controlling the pitch and yaw angles. The feedback position of the beam was provided by two incremental encoders.

As it was mentioned before, TRMS has a nonlinear dynamic with cross couplings between the rotors which complicates the control process and makes the controller design a difficult task. To address this problem, simple and linear transfer functions modeling the system were identified in order to compute both PID and PI-PD controllers' tuning parameters. Four transfer functions, corresponding to pitch dynamic, yaw dynamic, cross pitch dynamic, cross yaw dynamic, were identified. First, the pitch dynamic was identified by applying a sine excitation signal, as an input, to excite the pitch dynamic. Then the output, which represents the measured pitch angle, was measured. Next, the input and output were exported to Matlab Identification Toolbox which was used to get the transfer function of pitch dynamic. The numerator and denominator degree of pitch transfer function were determined by trial and error. Following, the identified pitch transfer function was experimentally tested by applying a sine excitation signal as an input to both the pitch transfer function and real time TRMS set up

simultaneously and comparing their output. Similarly, the process was repeated for identifying the other transfer functions. Finally, the identified transfer functions were used for computing the controllers' tuning parameters.

In the literature, TRMS control system was mostly carried out by using PID controller because of its simplicity. However, it has been reported that PID controller can perform poorly in several cases, such transfer functions with unstable poles. Whereas PI-PD controllers can provide better results when PID controller is insufficient. Therefore, PI-PD controller was suggested to control the TRMS system to improve its performance. PI-PD controllers were designed based on Particle Swarm Optimization (PSO) which is easy to implement. For a fair comparison, PID controllers were also designed by PSO. Performance of designed PID and PI-PD controllers were tested both in simulation and real time experiments. The simulation and real time results show that a better closed-loop response can be achieved with PI-PD controllers when compared to PID controllers.

Keywords: PID, PI-PD, TRMS, MIMO, PSO Particle Swarm Optimization, Nonlinear Systems, Proportional, Integral, Derivative, Multi-Input Multi-Output Systems