

KARİYER: Kontrol Edilebilir Robot Oğulları

Proje No: 104E066

Yrd.Doç.Dr. Erol Şahin

HAZİRAN 2010
ANKARA

ÖNSÖZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	2
İÇİNDEKİLER	3
ÖZET	5
GİRİŞ	7
GENEL BİLGİLER	7
GEREÇ YÖNTEM	7
BULGULAR	7
TARTIŞMA SONUÇ	8
REFERANSLAR	10

No table of figures entries found.

ÖZET

Bu rapor 1 Nisan 2005- 1 Nisan 2010 tarihleri arasında yürüttüğüm 104E066 nolu KARIYER: Kontrol Edilebilir Robot Oğulları adlı proje çerçevesinde gerçekleştirilen çalışmaları özetlemektedir. Projenin ana bilimsel amacı, robot ogullarının kendi-kendine örgütlenme (ing. Self-organization) dinamiklerinin dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceğini incelemek idi. Bu amaçla Kobot adında gezer bir robot platformu geliştirilmiş ve bu platformdan 20 adet üretilmiştir. Buna ek olarak platform ile birlikte kullanılmak üzere gerçek robotun karakteristikleri uygun olarak teyit edilmiş olan bir fiziksel gerçeklikte benzeşim ortamı (ing. Simulator) geliştirilmiştir. Geliştirilen robotlar üzerinde kendi-kendine sürü halinde hareket (ing. Flocking) ve toplanma (ing. Aggregation) ve dağılma (ing.) davranışları gerçekleştirilmiş, bunların dinamikleri üzerinde sistematik deneysel çalışmalarla beraber teorik modellemeler yapılmıştır. Toplu olarak sürü halinde hareket eden bir robot sürüsünün içindeki belli robotların dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceği incelenmiş ve ayrıca sürü halinde hareket etmenin uzun 'göçler' sırasında robotların daha kesin bir şekilde aynı hedeflere varabildikleri gösterilmiştir.

Proje süresince çıkan sonuçlardan 6 makale, 1 özel sayı (editörlüğünü proje yürütücüsünün yaptığı), uluslararası bir yayınevi (Springer) tarafından basılmış1 çalıştay kitabı (editörlüğünü proje yürütücüsünün yaptığı), 1 kitap bölümü, 9 uluslararası ve 3 ulusal bildiri, 1 doktora ve 3 master tezi çıkmıştır. Ayrıca bu sürede proje yürütücüsü bu konularda yayın yapan Swarm Intelligence

ABSTRACT

GİRİŞ

Projenin ana bilimsel amacı, robot ogullarının kendi-kendine örgütlenme (ing. Self-organization) dinamiklerinin dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceğini incelemek idi.

GENEL BİLGİLER

GEREÇ YÖNTEM

Projedeki araştırmalar için Kobot adında bir gezer robot platformu geliştirilmiştir. Bir CD büyüklüğünde (12 cm çapında) olan robot 350 gram olup, iki yüksek kaliteli DC motor tarafından hareket etmektedir. Robotun gövdesinde 8 adet, dışsal ışık kaynaklarından (güneş, lamba gibi) etkilenmeyen ve diğer Kobotları ve nesnelere olan uzaklıkları (21 cm kadar) algılayıp ayırdedebilen kızılötesi algılayıcılar, bir sayısal pusula ve 20 metre erişimli Zigbee kablosuz ağ modülü vardır. Robotun üzerindeki kontrol algoritmaları 20 MHz PIC18F4620A mikroişlemci üzerinde çalışmakta ve robot 3 AA pil ile 7-8 saat ve LiPoly pil ile 10 saat hareket edebilmektedir. Kobot platformundan 20 adet üretilerek, projedeki araştırmalarda kullanılan robot oğulu yaratılmıştır.



Kobot platformuna ek olarak robotlar ile birlikte kullanılmak üzere gerçek robotun karakteristikleri uygun olarak teyit edilmiş olan bir fiziksel gerçeklikte benzeşim ortamı (ing. Simulator) geliştirilmiştir. Robot hakkındaki daha detaylı bilgiler ve kullanımına ilişkin detaylı açıklamalar bu raporun ekinde sunulan 'Kobot User Manual' dokümanında mevcuttur.

BULGULAR

Geliştirilen robotlar üzerinde kendi-kendine sürü halinde hareket (ing. Flocking) ve toplanma (ing. Aggregation) ve dağılma (ing.) davranışları gerçekleştirilmiş, bunların dinamikleri üzerinde sistematik deneysel çalışmalarla beraber teorik modeller yapılmıştır. Toplu olarak sürü halinde hareket eden bir robot sürüsünün içindeki belli robotların dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceği incelenmiş ve ayrıca sürü halinde hareket etmenin uzun 'göçler' sırasında robotların daha kesin bir şekilde aynı hedeflere varabildikleri gösterilmiştir.

Toplanma davranışına ilişkin olarak

TARTIŞMA SONUÇ

Projenin öneride ortaya konulan hedeflerin çoğuna başarıyla varmıştır.

Özetlemek gerekirse:

- Proje içinde bir gezer robot platformu ve simülatörü tasarlanmış, üretilmiş ve başarıyla kullanılmıştır. Özellikleri ile birçok yönden dünyadaki varolan akranların üstün olan bu platformun en az 2000 TL'lik bir değerden alıcı bulabileceği düşünülürse, toplamda 40,000 TL'lik bir araştırma altyapısı yaratılmıştır. Oluşturulan bu araştırma altyapısı bu konuda gelecekte yapılacak olan çalışmalar için büyük bir avantaj yaratmıştır.
- Proje ODTÜ'yü bu konuda dünyanın önde gelen araştırma merkezlerinden birisi haline getirmiştir. Proje süresince çıkan sonuçlardan 6 makale, 1 özel sayı (editörlüğünü proje yürütücüsünün yaptığı), uluslararası bir yayınevi (Springer) tarafından basılmış 1 çalıştay kitabı (editörlüğünü proje yürütücüsünün yaptığı), 1 kitap bölümü, 9 uluslararası ve 3 ulusal bildiri, 1 doktora ve 3 master tezi çıkmıştır.
- Proje yürütücüsü bu konuda dünyanın başta gelen uzmanlarından biri olarak kendini ispatlamıştır.
 - Bu konularda yayın yapmayı hedefleyen Swarm Intelligence (Springer) adlı derginin kuruluşunda (2007) yer almış ve derginin yayın kurulunda yer almıştır. Ayrıca yürütücü 2009'dan beri yine benzer konularda yayın yapmakta olan Adaptive Behavior adlı derginin Yardımcı Editörlüğünü yürütmektedir.
 - Proje yürütücüsü bu dönemde Swarm robotics konusundaki ikinci çalıştayı düzenlemiş, ANTS 2010 ve AAMAS 2009 adlı konferanslarda sırasıyla swarm robotics ve (multi-)robotics' konularında program co-chair'liğini yürütmüş ve IROS, ICRA, SIS gibi birçok uluslararası konferansta 'Program Committee' görevlerini yürütmüş ve yürütmektedir.
- Proje interdisipliner özelliğiyle makina, elektrik-elektronik ve bilgisayar mühendisliği tabanlı öğrenci ve öğretim üyelerinin beraber çalışmalarını sağlayarak büyük bir sinerji üretmiştir. Biyoloji bölümündeki öğretim üyelerinin isteksiz davranışları nedeniyle bu disiplinle yeterince ilişki kurulamamıştır. Öte yandan özellikle modelleme konusunda yapılan çalışmalarda dünyanın değişik yerlerindeki İstatistiksel Fizikçilerle (C. Huepe; ABD ve T. Vicsek; Macaristan) öngörülmeyle bağlantılar kurulmuştur.

Bunların dışında proje önerisinde hedeflenen ancak proje süresince revize edilerek (gelişme raporlarında yazılı) bazı hedefler küçültülmüş veya iptal edilmiştir. Öncelikle iki robot platformu yerine tek bir robot platformu geliştirilmiş, ve robotlardan bir kısmı için geliştirilmesi için hedeflenen görüntü algı ve işleme sisteminin geliştirilmesinden vazgeçilmiştir. Görüntü algı ve işleme sistemi üzerine yapılan ilk sayısal kamera prototipi başarıyla çalıştırılmakla beraber, bu yöndeki çalışmaların başlı başına ayrı bir TEYDEB veya TÜBİTAK projesi olabilecek seviyede olduğu ortaya çıkmış ve projenin bilimsel hedefleri için elzem olmadıklarına karar verilmiştir. Bu konudaki çalışmaların, verilecek ardışık bir veya birkaç projenin içinde devam ettirilmesi hedeflenmektedir.

İkinci olarak projede hedeflenen örüntü oluşturma problemi, dünyadaki bazı grupların bu konuda daha önce başlamış projelerde yaptıkları yayınlarla cazibesini yitirmiş ve bunun yerine sürü halinde hareket etme ve kendi-kendine toplanma hareketine odaklanılmıştır. Bu konularda yapılan yayınlar, bu kararın yerinde olduğunun göstergesidir.

Üçüncü olarak Kobot ve simülatörünün ticari bir kit haline getirilmesi proje süresi içinde tamamlanamamıştır. Bunun nedenleri teknolojik olmaktan çok girişimcilik ve risk alma ruhunun eksikliğine bağlanabilir. Robotun geliştirilmesinde yer alan şirketin diğer ticari odaklarının olması ve öğrencilerin de eğitimlerini ön planda tutmaları bu konunun ikinci planda kalmasına neden olmuştur. Bu hedefimizi projenin ötesine taşımak için Fikri Ürün Bildirim Formları da raporun ekinde gönderilmiştir.

Dördüncü olarak robotların bir yüksek lisans dersinin laboratuvarlarında kullanımı proje yürütücüsünün son üç yıldır sadece lisans dersleri vermesi nedeniyle yapılamamıştır. Proje yürütücüsü 2010-2011 yılında ilgili dersi açıp bu robotları derste kullanmayı hedeflemektedir. Bu amaçla, laboratuvar çalışmalarında kullanmak için bir kullanım kılavuzu hazırlanmıştır. Bu kılavuz, bu hedefe yönelik proje içinde yapılması gereken işlerin tamamlanması olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak projenin başarıyla tamamlandığı görüşündeyiz.

REFERANSLAR

1. CELİKKANAT H., and Sahin, E. (2010) Steering Self-organized Robot Flocks through Externally Guided Individuals. *Neural Computing and Applications journal*.
2. GOKCE, F., and Sahin, E. (2010) The pros and cons of flocking in the long-range "migration" of mobile robot swarms. *Theoretical Computer Science journal*.
3. GÖKÇE F. and Şahin, E., "To flock or not to flock: Pros and cons of flocking in long-range "migration" of mobile robot swarms". In Proceedings of the Eighth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'09), pages 65-72. (2009)
4. BAYINDIR L. and Şahin, E., "Modeling Self-Organized Aggregation in Swarm Robotic Systems". Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS'09), pages 88-95. (2009)
5. ÇELİKKANAT H., Turgut A.E., and Şahin, E. "Control of a Mobile Robot via Informed Robots". In Proceedings of the 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS'08), pages 215-225. (2009)
6. ŞAHİN, E. and Winfield A.F.T., "Special Issue on Swarm Robotics". *Swarm Intelligence Journal*, Springer, vol 2, no: 2-4, 2008.
7. TURGUT A.E., Celikkanat H., Gokce, F. and Sahin, E., "Self-Organized Flocking in Mobile Robot Swarms". *Swarm Intelligence Journal*, Springer, vol 2, no:2-4, pp. 97-120, 2008.
8. TURGUT A.E., Huepe, C, Çelikkanat H., Gökçe, F. and Şahin, E. "Modelling Phase Transition in Self-Organized Mobile Robot Flocks". In Proceedings of the 6th International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS'08). Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol 5217, pages 108-119, 2008.
9. TURGUT A.E., Çelikkanat H., Gökçe, F. and Şahin, E. "Self-Organized Flocking with a Mobile Robot Swarm". In Proc. of the 7th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS'08), Padgham, Parkes, Muller and Parsons (eds.), pp. 39-46, 2008.
10. ŞAHİN E., Girgin S., Bayındır L. and Turgut A.E. "Swarm Robotics", In *Swarm Intelligence - Introduction and Applications* (editors: C. Blum and D. Merkle), Springer, pp. 87-100, 2008.
11. BAYINDIR L. E. Şahin, "A Review of Studies in Swarm Robotics", *Turk. J. Elec. Engin.*, 15, 115-147, 2007.
12. SOYSAL O., E. Bahceci, E. Şahin, "Aggregation in Swarm Robotic Systems: Evolution and Probabilistic Control", *Turk. J. Elec. Engin.*, 15, 199-225, 2007.

13. ŞAHİN E., W. Spears A.F.T. Winfield (editorler), *Proc. of the Second Swarm Robotics Workshop*, Lecture Notes in Computer Science 4433, Berlin Heidelberg, Springer, 2007.
14. SOYSAL O. E. Şahin. "A macroscopic model for probabilistic aggregation in swarm robotic systems," In Şahin E., Spears W. Winfield A.F.T., (editorler), *Lecture Notes in Computer Science 4433*, Berlin Heidelberg, Springer, 2007.
15. TURGUT A.E., F. Gökçe., H. Çelikkanat, L. Bayındır E. Şahin, "Kobot: Sürü robot çalışmaları için tasarlanmış gezgin robot platformu", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK'07*, 259-264, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 2007.
16. ŞAHİN E., S. Girgin E. Uğur "Area measurement of large closed regions with a mobile robot," *Autonomous Robots journal*, 21, 255-266, (2006).
17. TURGUT A.E., M. Çakmak, E. Şahin B. Koku, "Ogul-Robot Sistemleri için Sinyallesme Sistemi Tasarımı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK'06*, TOBB Ekonomi Teknoloji Üniversitesi, 407-412, Ankara, 2006.
18. ÇELİKKANAT H., Turgut A.E., E. Şahin Koku B., "Ogul-Robot Sistemleri için Basit Bir Görüntüleme Sistemi Tasarımı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK'06*, 413-418, TOBB Ekonomi Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2006.
19. SOYSAL, O E. Şahin. "Probabilistic Aggregation Strategies in Swarm Robotic Systems," *Proc. of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, June 2005, Pasadena, California, 325-332, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005.
20. BAHCECİ, E. E. Şahin. "Evolving Aggregation Behaviors for Swarm Robotic Systems: A Systematic Case Study," *Proc. of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, June 2005, Pasadena, California, 333-340, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005.
21. GİRGIN S. E. Şahin "Blind area measurement with mobile robots," In F. Groen, N. Amato, A. Bonarini, E. Yoshida, B. Krose, (editorler), *Proc. of the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-8)*, 37-44. IOS Press. Amsterdam, the Netherlands, 2004.

Yönetilen Yüksek Lisans Tezleri :

22. ÇELİKKANAT, H., "Control of a Mobile Robot Swarm via Informed Robots", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008.
23. GÖKÇE, F., "To Flock or not to Flock: Pros and Cons of Flocking in Long-range "migration" of Mobile Robot Swarms", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008.

24. SOYSAL, O., “A Systematic Study of Probabilistic Aggregation Strategies in Swarm Robotic Systems”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2005.

Yönetilen Doktora Tezleri/Sanatta Yeterlik Çalışmaları :

25. TURGUT A.E., “Self-organized Flocking with a Mobile Robot Swarm”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008. (eş-danışman)

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje No: 104E066
Proje Başlığı: KARİYER: Kontrol Edilebilir Robot Oğulları
Proje Yürütücüsü Araştırmacılar: Yrd.Doç.Dr. Erol Şahin
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş Adresi: Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı Adresi: Yok.
Projenin Başlangıç Bitiş Tarihleri: 1/4/2005-1/4/2010
Öz (en çok 70 kelime) Bu projenin ana bilimsel amacı, robot ogullarının kendi-kendine örgütlenme (ing. Self-organization) dinamiklerinin dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceğini incelemektir. Bu amaçla Kobot adında gezer bir robot platformu geliştirilmiş ve bu platformdan 20 adet üretilmiştir. Buna ek olarak platform ile birlikte kullanılmak üzere gerçek robotun karakteristikleri uygun olarak teyit edilmiş olan bir fiziksel gerçeklikte benzeşim ortamı (ing. Simulator) geliştirilmiştir. Geliştirilen robotlar üzerinde kendi-kendine sürü halinde hareket (ing. Flocking) ve toplanma (ing. Aggregation) ve dağılma (ing.) davranışları gerçekleştirilmiş, bunların dinamikleri üzerinde sistematik deneysel çalışmalarla beraber teorik modellemeler yapılmıştır. Toplu olarak sürü halinde hareket eden bir robot sürüsünün içindeki belli robotların dışarıdan nasıl ve ne dereceye kadar kontrol edilebileceği incelenmiş ve ayrıca sürü halinde hareket etmenin uzun 'göçler' sırasında robotların daha kesin bir şekilde aynı hedeflere varabildikleri gösterilmiştir.
Anahtar Kelimeler: gezer robot, otonom robot, robot sürüleri, sürü zekası, kendi-kendine örgütlenme

Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet ☒ Gerekli Değil ☐

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

CELİKKANAT H., and Sahin, E. (2010) Steering Self-organized Robot Flocks through Externally Guided Individuals. *Neural Computing and Applications journal*.

GOKCE, F., and Sahin, E. (2010) The pros and cons of flocking in the long-range "migration" of mobile robot swarms. *Theoretical Computer Science journal*.

GÖKÇE F. and Şahin, E., "To flock or not to flock: Pros and cons of flocking in long-range "migration" of mobile robot swarms". In Proceedings of the Eighth International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'09), pages 65-72. (2009)

BAYINDIR L. and Şahin, E., "Modeling Self-Organized Aggregation in Swarm Robotic Systems". Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS'09), pages 88-95. (2009)

ÇELİKKANAT H., Turgut A.E., and Şahin, E. "Control of a Mobile Robot via Informed Robots". In Proceedings of the 9th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS'08), pages 215-225. (2009)

ŞAHİN, E. and Winfield A.F.T., "Special Issue on Swarm Robotics". *Swarm Intelligence Journal*, Springer, vol 2, no: 2-4, 2008.

TURGUT A.E., Celikkanat H., Gokce, F. and Sahin, E., "Self-Organized Flocking in Mobile Robot Swarms". *Swarm Intelligence Journal*, Springer, vol 2, no:2-4, pp. 97-120, 2008.

TURGUT A.E., Huepe, C, Çelikkanat H., Gökçe, F. and Şahin, E. "Modelling Phase Transition in Self-Organized Mobile Robot Flocks". In Proceedings of the 6th International Conference on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS'08). Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol 5217, pages 108-119, 2008.

TURGUT A.E., Çelikkanat H., Gökçe, F. and Şahin, E. "Self-Organized Flocking with a Mobile Robot Swarm". In Proc. of the 7th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS'08), Padgham, Parkes, Muller and Parsons (eds.), pp. 39-46, 2008.

ŞAHİN E., Girgin S., Bayındır L. and Turgut A.E. "Swarm Robotics", In *Swarm Intelligence - Introduction and Applications* (editors: C. Blum and D. Merkle), Springer, pp. 87-100, 2008.

BAYINDIR L. E. Şahin, "A Review of Studies in Swarm Robotics", *Turk. J. Elec. Engin.*, 15, 115-147, 2007.

SOYSAL O., E. Bahceci, E. Şahin, "Aggregation in Swarm Robotic Systems: Evolution and Probabilistic Control", *Turk. J. Elec. Engin.*, 15, 199-225, 2007.

ŞAHİN E., W. Spears A.F.T. Winfield (editorler), *Proc. of the Second Swarm Robotics Workshop*, Lecture Notes in Computer Science 4433, Berlin Heidelberg, Springer,

2007.

SOYSAL O. E. Şahin. "A macroscopic model for probabilistic aggregation in swarm robotic systems," In Şahin E., Spears W. Winfield A.F.T., (editorler), Lecture Notes in Computer Science 4433, Berlin Heidelberg, Springer, 2007.

TURGUT A.E., F. Gökçe., H. Çelikkanat, L. Bayındır E. Şahin, "Kobot: Sürü robot çalışmaları için tasarlanmış gezgin robot platformu", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantisi TOK'07*, 259-264, Sabancı Üniversitesi, İstanbul, 2007.

ŞAHİN E., S. Girgin E. Uğur "Area measurement of large closed regions with a mobile robot," *Autonomous Robots journal*, 21, 255-266, (2006).

TURGUT A.E., M. Çakmak, E. Şahin B. Koku, "Ogul-Robot Sistemleri için Sinyallesme Sistemi Tasarımı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantisi TOK'06*, TOBB Ekonomi Teknoloji Üniversitesi, 407-412, Ankara, 2006.

CELİKKANAT H., Turgut A.E., E. Şahin Koku B., "Ogul-Robot Sistemleri için Basit Bir Görüntüleme Sistemi Tasarımı", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantisi TOK'06*, 413-418, TOBB Ekonomi Teknoloji Üniversitesi, Ankara, 2006.

SOYSAL, O E. Şahin. "Probabilistic Aggregation Strategies in Swarm Robotic Systems," Proc. of the IEEE Swarm Intelligence Symposium, June 2005, Pasadena, California, 325-332, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005.

BAHCECİ, E. E. Şahin. "Evolving Aggregation Behaviors for Swarm Robotic Systems: A Systematic Case Study," Proc. of the IEEE Swarm Intelligence Symposium, June 2005, Pasadena, California, 333-340, Piscataway, NJ: IEEE Press, 2005.

GİRGİN S. E. Şahin "Blind area measurement with mobile robots," In F. Groen, N. Amato, A. Bonarini, E. Yoshida, B. Krose, (editorler), Proc. of the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-8), 37-44. IOS Press. Amsterdam, the Netherlands, 2004.

Yönetilen Yüksek Lisans Tezleri :

ÇELİKKANAT, H., "Control of a Mobile Robot Swarm via Informed Robots", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008.

GÖKÇE, F., "To Flock or not to Flock: Pros and Cons of Flocking in Long-range "migration" of Mobile Robot Swarms", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008.

SOYSAL, O., "A Systematic Study of Probabilistic Aggregation Strategies in Swarm Robotic Systems", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2005.

Yönetilen Doktora Tezleri/Sanatta Yeterlik Çalışmaları :

TURGUT A.E., "Self-organized Flocking with a Mobile Robot Swarm", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, 2008. (eş-danışman)

