

FPGA TABANLI 3-B YILANSI ROBOT KONTROL DİZİSİ ÜRETECİ

Mehmet Yakut¹, Ali Tangel², Kadir Baş³

Electronics & Communications Engineering
Kocaeli University, İzmit, Turkey

myakut@kou.edu.tr¹, atangel@kou.edu.tr², baskadir@gmail.com³

ABSTRACT:

In this study, 64 channel PWM controller is realized for 4 types of locomotion of the snake-like robot with 64 DOF using mid-level FPGA, which can be adapted for the other modes of movement with slight modification. FPGA's are nice tools for engineers when hardware capabilities and software speed are not enough for the application. For the snake-like robot consisting of 50-60 joints, the servo control mechanism needs the same number of PWM modules. The PWM modules are realized in both independent and sequentially accessible forms, since the locomotion modes of the snake-like robot requires dependent rhythmic changes between adjacent joints and independent control of all/some of the joints. In this application, PWM signal array is generated by proper shifts in time, at different instances of PWM generation to reach relatively constant current consumption. Main outcome of this study is to implement a single chip control module for snake-like robot using FPGA technology, which is not supplied by the conventional microcontrollers.

1. GİRİŞ

Çoğu zaman araştırmacılar özel bir ortam veya çalışma koşulu için hareketli robot mekanizmalarını tasarlarlarken biyolojik canlı türlerinin özelliklerinden esinlenmektedir. Geçmişte çeşitli yılanlı robot mekanizmaları tasarlanmış ve üzerlerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Hirose, ACM olarak bilinen yılankavi modunda hareket edebilen ilk yılanlı robot mekanizmasını gerçekleştirmiştir[1]. Daha sonra farklı hareket modlarını yapabilen değişik tiplerde yılanlı robotlar araştırmacılar tarafından tasarlanmıştır. Yılanlar ortama uyarlatabilen farklı türdeki hareketleri yapabilmektedir. Yılanlı robot mekanizması tasarlanmak istendiğinde, farklı türdeki hareket modlarını üretecek denetim düzeneği, sistemin önemli

bir birimini oluşturmaktadır. Yılanlar genellikle dört temel mod ile hareket etmektedir. Bunlar yılankavi, dikdüzlemsel, yanal uçuş ve topaklanma olarak bilinir. Yılankavi hareketi hemen tüm yılanların gerçekleştirebildiği sürünme hareketidir. Bu hareket modunda yılan vücudunun herbir parçası, ardışıl eklemlerin bir öncekinin hareketini izlemesinin sonucu olarak aynı iz üzerinden hareket eder. Bu çalışmada, PWM üretme yöntemimizle birebir örtüşen, sürünme hareketinin bu özelliğinden faydalanılmıştır.

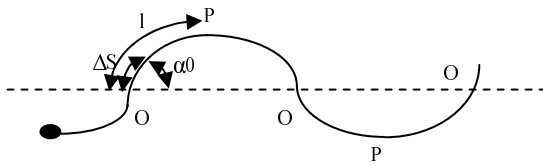
Yılanlı robotların omurgaları uzaktan kumandalı uçak, helikopter gibi model araçların üzerinde bulunan onlarca servokontrol mekanizmasından oluşur. Gerçekte ardışıl omurga bileşenleri arasında sınırlı genlikte hareket etme imkanı vardır. Farklı yılan hareket biçimleri için literatürde değişik yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu çalışma için temel yaklaşım, öncelikle yılanlı robot için bir hareket modeli seçerek, robotun iskelet kas yapısının başlangıç pozisyonlarının belirlenmesi olmuştur. FPGA tabanlı çok kanallı PWM üretici, belirlenen eklem bilgilerine ve istenen hareket biçimine uygun şekilde, eklemlerin bağlı hızları ve genliklerini denetlemekte kullanılmaktadır.

2. YILANSI ROBOTUN HAREKETLERİ

Genel sınıflama olarak yılanlı robotlar için dört farklı hareket biçimi vardır. Ardışıl eklemler arasındaki açıların ayarlanmasıyla istenen biçimdeki şekli alması sağlanabilir. Ardışıl eklemleri arasındaki açılar belirlendikten sonra artık yılanlı robotun şekli elde edilmiş ve değişmezdir. Daha sonra ardışıl eklemler arasındaki bağlı açıların zamanla yavaşça değişimi sağlanarak basit hareketlerden karmaşık hareket biçimlerine kadar çeşitli hareketler elde edilebilir. Yılankavi hareketi için matematiksel ifade eşitlik (1)'deki gibi, model de Şekil 1'deki gibidir.

$$\varphi_i(\Delta s) = -2\alpha_0 \sin\left(\frac{S_n\pi}{n}\right) \sin\left(\frac{2S_n\pi}{L}\Delta s + \frac{2S_n\pi}{n}i\right) \quad (1)$$

Bu ifadede Δs serpenoid eğrisi üzerindeki küçük hareket miktarına, S_n yılan uzunluğu L boyunca oluşacak S işlevi sayısını ve n eklem sayısını göstermektedir. Bazı önemli değişkenleri şekil 6. üzerinden irdelemek, anlaşılabilirliği arttıracaktır. Yılanın robotun bağıl eklem açıları arasında kafa eklemi için bir istisnai durum vardır. Genelde yılanın kafasının doğrultusu, hareketin yöneldiği hedefe doğru olmaktadır. Kafa eklemi için hareket yönündeki bağıl eklem açısı eşitlik (2) ile verilebilir.



Şekil 1. Yılansı robot için matematiksel model

$$\varphi_h(\Delta s) = -\alpha_0 \cos\left(\frac{2S_n\pi}{L}\Delta s + \frac{n-0.5_n\pi}{n}i\right) \quad (2)$$

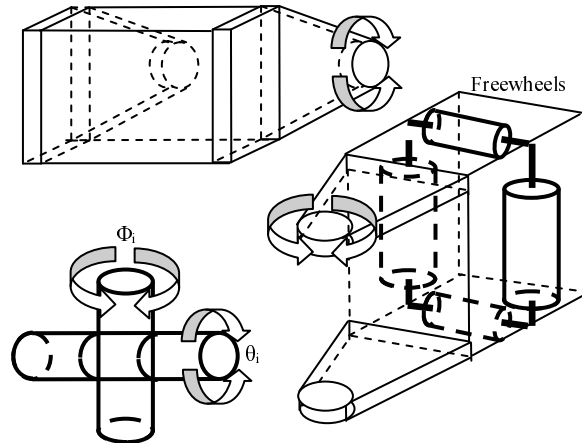
Concertina hareketi serpentin hareketi ile aynı özellikte olup yalnızca hareketin yönünün düşey ekseninde yapılması farkı vardır. Bu yüzden eşitlik (3) ile eşitlik (1) $\theta_i(\Delta s)$ 'in düşeydeki sepenoid eğrisine karşılık gelmesi ve δ_θ 'ın düşey ve yatay hareket arasındaki faz farkına karşılık gelmesi dışında, gerçekte aynı ifadelerdir. Bu hareket biçimi bazan sinüs yükseltme hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Bu iki hareket biçiminin kombinasyonları kullanılarak 3B ortamda çeşitli hareket şekilleri, her eklemdede iki serbestlik derecesi oluşturularak, elde edilebilir.

$$\theta_i(\Delta s) = -2\alpha_0 \sin\left(\frac{S_n\pi}{n}\right) \sin\left(\frac{2S_n\pi}{L}\Delta s + \frac{2S_n\pi}{n}i\right) + \delta_\theta \quad (3)$$

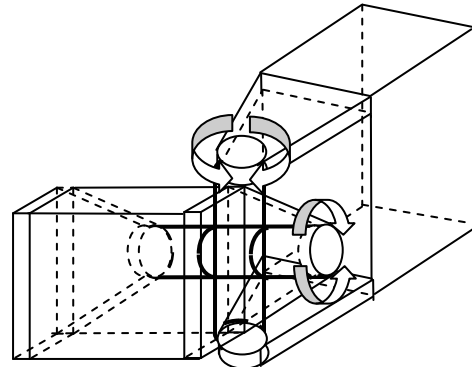
Eklemlerin açısal hızları ve ivmelenmeleri için ϕ_i ve θ_i 'nin birinci ve ikinci türevleri [9]'daki gibi elde edilebilir.

Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te FPGA kullanılarak denetlenecek yılanı robotun mekanik eklem yapısına ilişkin bilgiler eklemlerin ayrı ayrı, birleştirilmiş ve ardarda eklenmiş biçimleri verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi her eklem yılanı robotun dört hareket modunun gerçekleştirilmesi için yatay ve dikey doğrultuda dönme kabiliyetine sahiptir. Yılankavi hareketi robot bedeninin dalga biçimli eğri boyunca dalgalandırılması olarak açıklanabilir. Hareket başlangıç olarak kafa ekleminin kıpırdatılmasıyla başlar ve sonra ardışıl eklemlerin benzer şekilde sırayla hareketin hızını belirleyen bir faz farkıyla kıpırdatılmasıyla devam eder [2], [3]. Biyolojik araştırmalar yılanların ritmik hareketlerinin merkezi patern üretici tarafından kontrol edilen düşük ganglia düzeyinin otomatik geliştirdiği hareket olduğunu

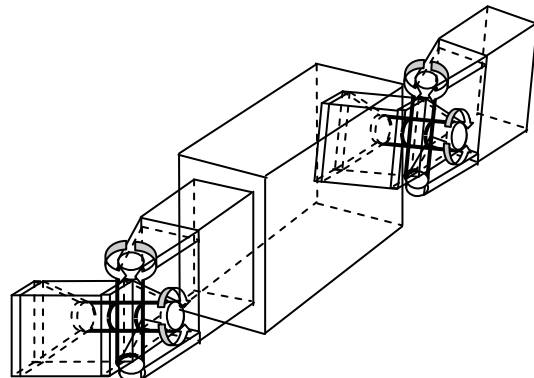
ortaya çıkarmıştır. Burada arta kalan eklemlerin ilk eklemin hareketine benzer hareket ettiği [1]'de Hirose tarafından belirtilmektedir. Aynı düşünce kullanılarak merkezi patern üretici ağ yapısı yılanı robotların denetimi için geliştirilmiştir [3]. Burada ele alınan yılanı robotlar için FPGA tabanlı darbe dizisi üretici de merkezi patern üretici ağ yapısının çıktılarını kullanabilecek biçimde tasarlanmıştır.



Şekil 2. Eklem bileşenleri ayrıştırılmış durumda



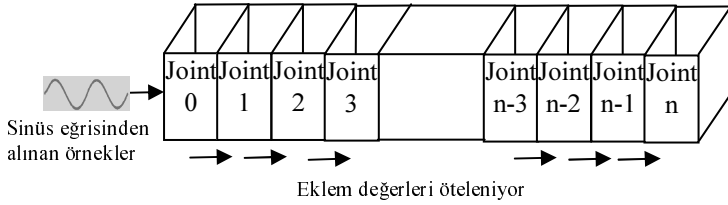
Şekil 3. Eklem bileşenleri birleştirilmiş durumda



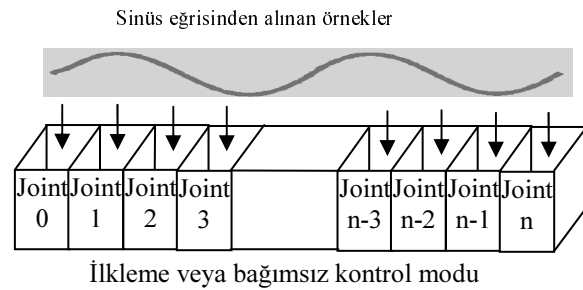
Şekil 4. İki eklem birbirine eklenmiş durumda

Serpentin hareketi örneğinde olduğu gibi yılanın robotun hareketi belli bir yönde sürecekse, kafanın ritmik hareketi iskelet ve kuyruk tarafından takip

edilir. Diğer eklemlerin hareketi faz farkı kadarlık gecikmelerle kafanın hareketinin aynıdır. Bu nedenle yılanı robotun hareketi için kafa eklemine ilişkin periyodik hareketler uygun gecikmelerle izleyen eklemlere ard arda uygulanmalıdır [5]. İlk eklemle ilişkin hareket bilgisinin yeterli uzunluktaki kaydırılmalı kaydedici ile diğer eklemlere aktarılması işlemi Şekil 5. ve Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. Eklem değerlerinin kaydırılarak aktarılması



Şekil 6. Eklem değerlerinin adreslenerek bağımsız olarak aktarılması

Eklem değişkenleri sabit zaman aralıkları ile kaydırılırsa hızlanma ve yavaşlama hareketi elde edilemeyecektir [6]. Yılanı robotun hareketi esnasında eklem değişkenlerini herhangi nedenle bağımsız olarak değiştirmek gerekebilir. Yaygın olarak yılanı robotların denetiminde her eklem için ayrı mikrodenetleyicinin kullanıldığı sistemin yönetilebilirliğini zorlaştıran yaklaşımlar uygulanmıştır. Robot üzerindeki eklem sayısı arttığında, eklemleri kontrol eden mikrodenetleyicili sistemlerin birbirleri arasında etkileşim artmakta ve ağ yapısı oluşturmayı gerektiren karmaşıklık ortaya çıkmaktadır. Ağın yönetilmesi, veri toplama ve bağımsız denetim işlemleri robotun kendisinin denetimi ile ilgilenmek yerine yeni problemler ortaya çıkarmaktadır. Tüm hareket kontrol sistemi merkezi bir noktada geliştirilirse, robotun yönetiminin daha basit olması sağlanacaktır. Bu nedenle bu çalışmada geliştirilen FPGA tabanlı yılanı robot denetim fonksiyonları üretici eklemlerin bilgisayar yardımıyla bağımsız ve periyodik denetimine imkan tanımaktadır. İlave olarak eklemlere ilişkin değişkenler kazanç kontrol ünitesi yardımıyla, FPGA ve bilgisayar arasında daha az sayıda denetim komutu ile hareketin yanal genliğini denetleme imkanı sağlamaktadır.

3. FPGA TABANLI KONTROL DİZİSİ ÜRETECİ

Bilgisayar tarafından üretilen eklemler arası bağıl konum bilgilerini kullanan FPGA tabanlı PWM dizisi üretici blok diyagramı Şekil 7. de görülmektedir. Yılanı robot iskeletinin başlangıç konumlaması bilgisayara üzerinden yapılmaktadır. Bilgisayarda elde edilen eklem bilgileri FIFO düzeninde çalışan adreslenebilir çift yoldan erişimli PWM tampon hafıza alanına seri port yardımıyla kopyalanır. Hemen ardından kazanç dizisi hareket için uygun kazanç değerleriyle doldurulur. Kazanç değerleri kullanmakla FIFO tampon içeriği değiştirilmeden hareketin genliği denetlenebilmektedir. Sonraki adım FIFO tampon alanındaki değerlerin önceden yüklenen kazanç değerleriyle çarpılarak PWM tampon dizisine aktarılmasını teşkil etmektedir. Bu aşamada yılanı robotun hareket ettirilmesi için yapılacak işlem istenen hareket hızı için uygun gecikme ile kafa eklemine yeni konum bilgisinin FIFO tampona kaydırılmasıdır. Yeni kafa eklem bilgisi FIFO tampona aktarıldığında eklemlerin birbirlerine göre konumlarını belirleyen önceki FIFO içeriği, bir sonraki eklemlere kaydırılarak küçük bir sürüklenme hareketi elde edilmiş olacaktır. Burada ele alınan FPGA uygulamasında hareketin genel genliğini kontrol etmek için kazanç kontrol dizisi yerine tek bir kazanç değeri kullanılabilmektedir. Her eklem hareket genliğinin ayrı ayrı kontrol etme esnekliği yanında, tüm eklemlere ilişkin kazanç değeri tek bir komutla değiştirilebilmektedir. Burada gerçekleştirilen uygulamada FIFO tampon alanına her yeni veri aktarıldığında tüm FIFO içeriği kazanç dizisi ile çarpılarak elde edilen değerler PWM dizisine aktarılmaktadır.

PWM dizisi üreticinin çalışmasını izah için Şekil 9a ve Şekil 9b'de örnek çıktıları ve darbe sürelerini göstermek üzere ledler üzerinde ışık şiddeti türünden, ayrıca denetleyicinin iç durumunu izlemek 7 parçalı gösterge üzerindeki değerler görülmektedir. FPGA ile elde edilen PWM işaret dizisi yılan iskeletini taklit etmede kullanılan servokontrol sistemine (model uçak vb.nde kullanılan) uygulanacaktır. Burada esas amaç mikrodenetleyicilerin çoğunda yeterli sayıda bulunmayan, ardışıl 64 adet PWM dizisi üretmektir. Bu sistem için gelecek adım karmaşık yılanı robot kontrol sisteminin tamamını FPGA içine yerleştirerek, robotun basit komutlarla hareketini sağlamaktır.

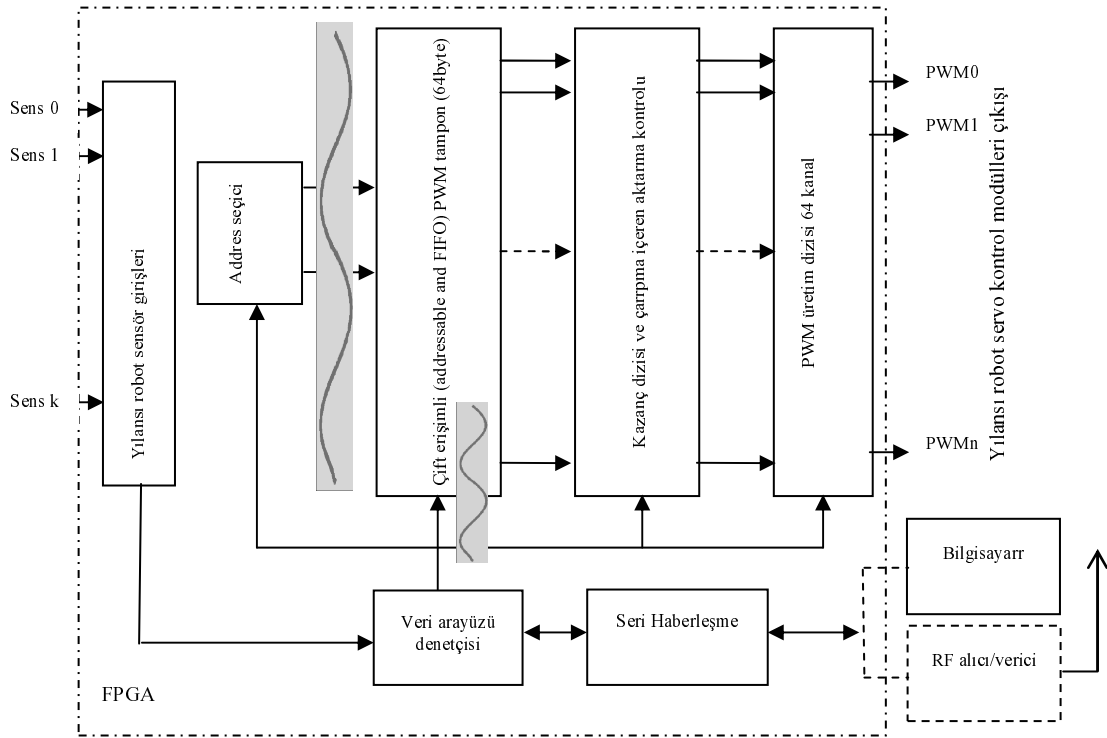
Çift erişimli FIFO tampon kullanılarak, kullanıcı yılanı robotun hareketinin herhangi evresinde eklemlerin konumlarında düzeltmeler yapabilecektir.

Ayrıca FPGA yongasının arta kalan uçları çevreden gelen sensör bilgilerini toplayarak kullanıcının robotun bulunduğu ortam hakkında bilgilendirilmesini sağlayacaktır. Gerçekte bu uçlar eklemelerin hareketleri gözlenetek herhangi eklem bir engelle karşılaşp karşılaşmadığını algılamak ve gerekli düzeltmeleri yapmak için kullanılabilir.

4. BATARYA İLE ÇALIŞAN YILANSI ROBOTLAR VE AKIM YÖNETİMİ

Gezgin robotlar kendi enerji kaynaklarını kendileri taşımak zorundadır. Robot üzerindeki çok sayıda eklem PWM işaretleri ile sürüldüğünde, tüm PWM işaretlerinin aynı zamanda başlatılması neticesinde, batarya dahili dirençleri zararlı etkiler üretmektedir. PWM işaretlerinin eşzamanlı başlaması ilk anda maximum akım çekilmesine, darbe süreleri sonlandıkça da çekilen akımın sıfıra düşmesine neden olmaktadır. Kaynaktan çekilen akım profili maksimum

değerden başlayıp sıfıra doğru inmekte ve her PWM periyodunda bu işlem devam etmektedir. Özellikle bataryalı sistemlerde (normal şebekeden beslenen sistemlerde de aynı etki mevcuttur) ilk anda çekilen maksimum akım bazen mikroişlemcilerin kilitlenmesi ile sonuçlanabilmektedir [10]. Akım dağılımını homojen hale getirip düzgünleştirmek için PWM işaretleri zamanda belli aralıklarla geciktirilerek başlatılabilir. Ayrıca PWM işaretlerinin yarısı boşluk ile başlatılıp diğer yarısı darbe ile başlatılarak, kaynaktan çekilen akımın düzenliliği sağlanabilir. Böylece istenmeyen durumların önüne geçilmiş olacaktır. Bu çalışmada gerçekleştirilen PWM işaretleri bu yaklaşıma uygun olarak Şekil 8. de görüldüğü gibi üretilmiştir. PWM işaretlerinin geciktirilmesi en fazla PWM periyodunun yarısı kadar olmalıdır. PWM periyodunun ortasından daha ileriye yapılacak geciktirmeler örtüşmeye neden olduğundan fayda sağlamamaktadır.



Şekil 7. FPGA tabanlı PWM dizisi üretici blok diyagramı

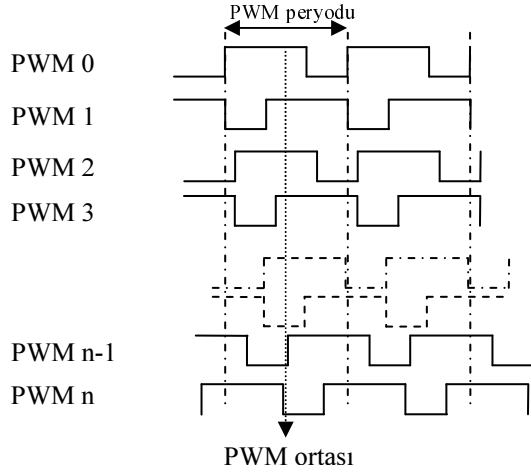
5. SONUÇLAR

Bu çalışma tek yonga üzerinden daha gerçekçi olabilecek yılansı robotmodelini sürmek üzere gerçekleştirilmiştir. Uygulama göstermektedir ki, 64 serbestlik dereceli yılansı bir robot orta düzey Xilinx Spartan III gibi bir FPGA ile kapasitesinin %50si kullanılarak sürülebilecektir. Yılansı robotun hareket edeceği iz profili FPGA ile birlikte kullanılan bir hafıza yongası üzerine aktarılırsa, basit kontrol

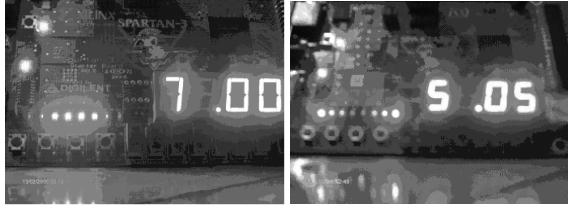
komutları ile farklı hareket modları ve bu hareketlere ilişkin süreler kontrol edilebilir. Bu çalışma ile yılansı robota ilişkin tüm hareket modları ve yeterli hafızaya kaydedilmiş bir hareket çizgisi bir FPGA ile birleştirilerek tek yonga üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Bundan sonraki çalışma aşağıdaki konulara odaklanacaktır:

- yılansı robot üzerine kamera modülünün entegre edilmesi

- yılanı robotlarla kablosuz haberleşme ve çoklu robot uygulaması için kablosuz ağ uygulaması



Şekil 8. Zamanda kaydırılarak başlatılmış PWM işaretleri



Şekil 9 (a) ve (b). PWM işaretlerinin ışık şiddeti olarak izlenmesi ve iç yapıdaki dırımın 7 parçalı göstergeye yansıtılması

KAYNAKLAR:

- [1] S. Hirose, "The biomechanisms of snakes," Robotics Research In Hirose-Yoneda Laboratory. 1997.
- [2] Z. Li, L. Alex and S. Silvia, "Mathematical analysis and simulations of the neural circuit for locomotion in lampreys", Physical Review Letters, Week ending, pp.1-4, 2004
- [3] Zhenli Lu, Shugen Ma, Bin Li and Yuechao Wang, "Serpentine Locomotion of a Snake-like Robot Controlled by Cyclic Inhibitory CPG Model", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (IROS 2005), Page(s):96 – 101, 2005
- [4] J. Conradt, P. Varshavskaya, "Distributed central pattern generator control for a serpentine robot," Proc. Joint Int. Conf. on Artificial Neural Networks and Neural Information Processing, 2003.
- [5] K. Inoue, S. Ma and C. Jin, "Neural Oscillator Network-based Controller for Meandering Locomotion of Snake-like Robots," Proc. 2004

IEEE Int.Conf. on Robotics and Automation (ICRA'04). 4.2004, pp.5064-5069.

- [6] C. Ye, S. Ma, B. Li and Y. Wang, "Turning and side motion of snake-like robot," Proceedings of 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Orleans, LA. April 2004, pp.5075-5080.
- [7] Bin Li¹, Shugen Ma^{1,2}, Yuechao Wang¹, Yang lv¹, Li Chen, "Environment-Adaptable Locomotion of a Snake-Like Robot", Proceedings of the 2004 IEEE, International Conference on Robotics and Biomimetics, August 22 - 26, 2004, Shenyang, China, 584-588
- [8] Shugen Ma; Tadokoro, N.; Bin Li; Inoue, K, "Analysis of creeping locomotion of a snake robot on a slope". Proceedings of 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Volume 2, 14-19 Sept. 2003 Page(s):2073-2078 vol.2
- [9] Shugen Ma, Hiroaki Araya, Li Li, "Development of a creeping snake-robot", Proceedings of 2001 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, 2001, Canada, 77-83
- [10] Mehmet Yakut, Kadir Bas, "FPGA ile seri porttan çoklu PWM üretimi", ASYU Akıllı sistemlerde yenilikler ve uygulamaları, YTU 2006, İstanbul