

Esnek Algılayıcı Kontrollü Robot El Tasarımı ve Gerçeklenmesi

^{1*}S. Serdar ÖZKAN, ²Durmuş Karayel, ³Gökhan ATALI, ⁴İbrahim GÖKBAYRAK
^{1,2,3}Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği

Öz

Dünya genelinde artan yalın üretim sistemlerinin gelişmesinde şüphesiz en önemli değere sahip olan girdilerden birisi de robotik çalışmalardır. Robotik çalışmalar sayesinde üretimde oluşabilecek hata payları ve kaza oranları en aza indirilerek üretimler gerçekleştirilebilmektedir. Başka bir söyleyişle, endüstriyel uygulamalarda robot kullanımının yaygınlaşması ile birlikte üretim kalitesi ve hassasiyeti artmıştır. Bu yaklaşımla, robot manipulatörlerinin zamanla insan eli yapısına olan benzerliklerinin artması gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, eldivene monte edilmiş esneklik sensörleri yardımıyla insan elinden alınan konum bilgileri ile mekatronik tabanlı robotik elinin kontrolü sağlanmıştır. İnsan el parmaklarının açılma hareketleri algılanarak bir mikrodenetleyici tarafından işlendikten sonra servo motorlar yardımıyla robot elin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda ortaya çıkan robot el ile insan için tehlikeli ortamlarda manipülasyon işlemlerini uzaktan kontrol etmek amaçlanmıştır. Diğer mevcut manipulatörlerin aksine daha az bir maliyet ile gerçekleştirilen bu çalışmanın ileride gerçekleştirilmesi planlanan yapay zeka tabanlı çalışmalara zemin oluşturması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Robot el, Flex sensör, Esnek algılayıcı kontrolü

Robot Hand Design and Implementation Based on Flexible Sensor Controlled

Abstract

One of the inputs that has an important value in the development of lean manufacturing systems increasing worldwide are the studies on robotics undoubtedly. The use of robot technologies in production is necessary if it is desired to reduce accident rates and manufacturing defects. In other words, the precision and quality in production increase day by day with the increasing use of robots in industrial applications. In parallel with this approach, it is observed to increase the similarity to human hand structure of the robot manipulators day after day. In this study, the control of the mechatronic-based robotic hand has been performed by the position information obtained from the human hand using flex sensors mounted on glove. First, the angular movements of the human fingers have been sensed and these signals have been processed by a microcontroller. Then the control of robot hand has been performed according to this data by using servo motors. At the end of the study, it has become possible to control remotely manipulation process in dangerous environments for human using robot hand. Unlike other existing manipulators, this study, which is carried out at a lower cost, aims to be pioneer for artificial intelligence based study that is planned to be carried out in the future.

Keywords: Robot hand, Flex sensor, Flexible sensor control

1. GİRİŞ

İnsan eli kavrama, sıkma, gevşetme, hissetme vb. işlevleri mükemmel bir düzeyde yapmaktadır ve robot manipulatörlerinin tasarımında bu özellikleriyle çok iyi bir örnek oluşturmaktadır. Hareketli birçok eklem bir araya gelmesi ile oluşan elektro-mekanik bir sistem olan robot ellerin ilham kaynağı insan elidir. Bu sistemlerde hareket, mekanik yapıyla tahrik ve kontrolü sağlayan elektrikli parçalar vasıtasıyla

sağlanır. Konu ile alakalı literatür incelendiğinde araştırmalar en genel manada insan elinin kinematik yapısına benzer robotik çalışmalar yönündedir.

İnsan eli birbirinden farklı kavrama ve duruş durumları için 4 pasif olmak üzere 24 serbestlik derecesine sahiptir. Kavrama işlemlerinin gerçekleşmesi için sırasıyla, eklemlere bağlı tendonlar, kaslar ve uyarıcı sinirler tarafından gerçekleşir. Günlük yaşamımızdaki aktivitelerimizin çok büyük bir kısmını karşılamak

Sorumlu Yazar: Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, 54187, Sakarya, Türkiye, E mail: sozkan@sakarya.edu.tr, Tel: 0264 2957286

DOI: 10.21541/apjes.314521

için, 5-6 farklı hareket yeterli olmaktadır. Bu hareketleri gerçekleştirebilmek için 5 serbestlik derecesi yeterli olmaktadır. Cobos ve arkadaşları çalışmalarında insan eli hareket kabiliyetlerinin kinematiklerini incelemiş ve bu hareketlere dair denklem takımlarını sunmuşlardır [1]. Endüstriyel tutucuların çoğu genellikle iki ya da üç parmaklıdır. Tek tip kavrama gerçekleştirilmekte, tek tahrikle kontrol edilmektedir. Bu tip sistemlerin kontrolü ve tasarımı kolay olabilmekte ama esnekliği yeterli olmamaktadır.

Lan ve arkadaşları çalışmalarında iki parmaklı bir insanın kavrama yapma becerisini tekrarlayan bir mikro tutucu sistemi SMA kullanarak gerçekleştirmişlerdir [2]. Ryew ve Choi çalışmalarında parmakların hareketlerinin 3 boyutlu olarak gerçekleştirilebilmesi için 2 serbestlik derecesine sahip bir eklem tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu tasarım sayesinde parmak hareketleri insan parmak hareketlerine daha da benzemekte olduğu çalışmada anlaşılmıştır [3]. Malegam ve D'Silva ise çalışmalarında kol hareketlerini ve parmak hareketlerini bir önceki kaynakta belirtilen yöntemle benzer bir yöntemle taklit etmeye çalışan bir sistem tasarlanmışlardır [4]. Hafiane ve arkadaşları el hareketlerinin algılanması için bilgisayarlı görü teknikleri kullanılmış ve elin 3 boyutlu modelini çıkararak SURF özellik çıkarma yöntemiyle el hareketlerini belirlenmişlerdir. Bu sayede teleoperasyon yani uzaktaki bir işlemin gerçekleştirilmesini amaçlamışlardır [5]. Kappasov ve arkadaşları çalışmalarında robot elin çalışması sırasında geri bildirim alınabilmesi için kullanılan yöntemleri detaylı olarak incelemiş ve bu yöntemler hakkında bilgiler sunmuşlardır [6]. Zhe Xu ve Emanuel Todorov, Washington üniversitesinde antropomorfik robotik el tasarımı çalışmasında bulunmuşlardır. Çalışmalarında insan elinin eklem yapısına uygun bir robotik el tasarımı sunmuşlardır [7]. Kiyoshi Hosino, Tsukuba Üniversitesinde yüksek hız ve doğrulukta taklitçi robot el çalışmasında bulunmuştur. Çalışmasında yüksek hassasiyette hata payını azaltmak için PD kontrolü kullanmıştır. [8]. Abidhusain Syedi ve arkadaşları yeni nesil

mikrodenetleyiciler kullanarak eğitim amaçlı bir robotik el tasarımı gerçekleştirmişlerdir [9]. Jayant Y. Hande ve arkadaşları çalışmalarında flex-sensör ve servo motorlardan oluşan antropomorfik robotik el tasarımı gerçekleştirmişlerdir. [10].

Bu çalışmada ilk olarak manipülatörün gerçekleştirilmesinde kullanılacak olan donanımlar ve yapısal malzemeler kavramsal tasarıma tabi tutulmuş ve olası optimal sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda elde edilen bulgular neticesinde 3D yazıcı çıktıları ile elde edilen yapay robot elin esnek algılayıcı sensörler ve servo motorlar ile kontrolü sağlanmıştır. Kontrol kartı olarak Atmega 328 mikro denetleyicisine sahip Arduino Uno tercih edilmiştir.

2. KAVRAMSAL TASARIM

Gerçekleştirilen robot elin optimum düzeyde olması amacıyla öncelikli olarak kavramsal tasarım uygulanmıştır. Kavramsal tasarım aşamaları için öncelikli alanlar ise şu şekildedir;

- Geometri; Protez El ölçü parametreleri mümkün olduğunca insan eli ölçü parametrelerine uyarlanmalıdır.
- Enerji; Sisteme 6V – 9V arası voltaj ve 2,5A – 3A arası akımlık bir besleme verilmelidir.
- Çalışma Şekli ve Şartları; Sistem insan elinden alınacak hareket girdileri ile tamamen manuel olarak kontrol edilmelidir.
- Maliyet; Sistem olabildiğince ucuza mal edilmelidir.
- Emniyet; Sistem kullanıcıya ve çevreye zarar vermeden çalışabilmelidir.

Kavramsal tasarımda 5 alt fonksiyon belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla; eldiven tasarımı, servo motor veri sinyali devreleri, kablolu haberleşme, sensör geri besleme sistemi, mikroişlemci programlama. Belirlenen öncelikli alanlar ve alt fonksiyonlar düşünüldüğünde oluşturulan çözüm varyantları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kavramsal tasarım çözüm varyantları (Conceptual design solution variants)

	Alt Fonksiyon	1	2	3	4
1	Elektrik	Elektrik motoru	Step motor	Servo motor	Hidrolik motor
2	Mekanik	Hidrolik pompa	Misina	Metal Tel	
3	Kontrol	Arduino	PLC	Raspberry-pi	İntel Galileo Gen
4	Malzeme	Metal	Ahşap	Sert plastik	
5	Sensör	Flex			

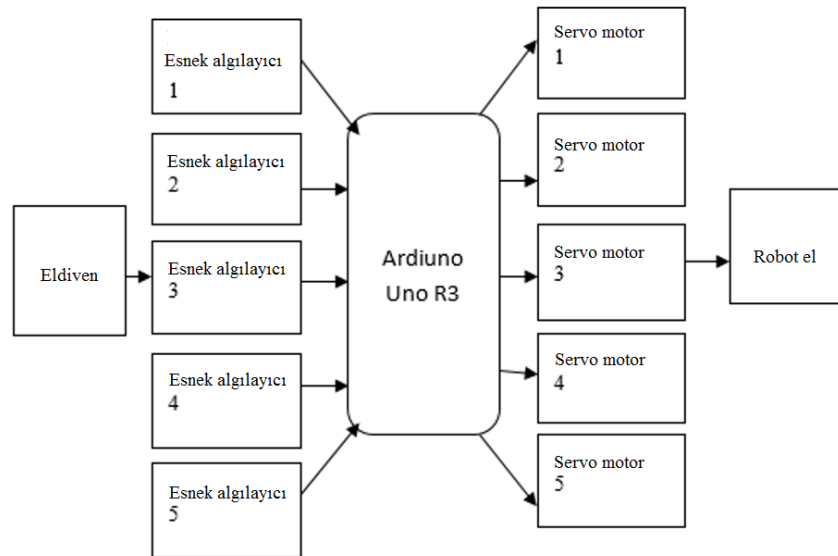
Kavramsal tasarımı gerçekleştirilen robot el uygulamasına ait varyantlar yukarıda verilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- VARYANT 1: 1.1 – 2.3 – 3.2 – 4.1 – 5.1
- VARYANT 2: 1.4 – 2.1 – 3.2 – 4.1 – 5.1
- VARYANT 3: 1.3 – 2.3 – 3.3 – 4.2 – 5.1
- VARYANT 4: 1.3 – 2.2 – 3.1 – 4.3 – 5.1
- VARYANT 5: 1.3 – 2.2 – 3.4 – 4.3 – 5.1

Bu beş varyant incelendiğinde; tüm işlemlerle uyumluluk, şartname isteklerini karşılama, prensipte gerçekleştirilebilirlik, müsaade edilebilir maliyet, emniyet şartlarını doğrudan karşılama, tasarım ve yeterli bilgi açısından 4.varyantın diğer varyantlara

oranla uygun olduğu tespit edilmiş ve çözüm için bu varyant uygulanmıştır.

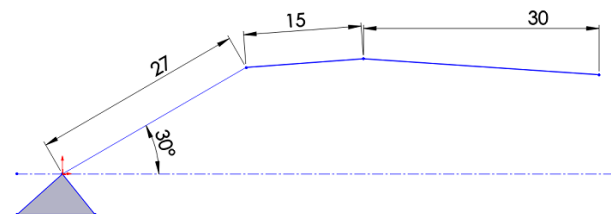
Kavramsal tasarım sonucunda gerçekleştirilecek mekatronik sisteme ait giriş elemanı esneklik sensörlerinden oluşan eldiven, çıkış elemanları ise servo motorlar olarak belirlenmiştir. Giriş ve çıkışlar arasında sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını ve kontrolünü sağlamak amacı ile yeni nesil mikro denetleyici platformlarından Arduino tercih edilmiştir. Bu sayede geniş bir manüplasyon kabiliyetini ekonomik açıdan uygun bir şekilde üretebilmek mümkün olmuştur. Sistemin oluşturulmasında kullanılan giriş, çıkış ve sistem elemanları blok diyagram şeklinde Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sistem elemanları blok diyagramı (System elements block diagram)

3. KONUM ANALİZİ

İnsan el parmaklarında başparmak 2 uzuvlu ve diğer parmaklar 3 uzuvludur. Başparmak harici diğer parmaklarda işaret parmağıyla aynı uzuv sayısına sahip olduklarından konum analizleri aynıdır. Şekil 2’de işaret parmağına ait konum analizi verilmiştir.



Şekil 2. İşaret parmağı konum vektörü (Index finger position vector)

OA=27mm, AB=15mm, BC=30mm, OD=40mm, DC=54mm olduğu kabul edilirse θ_{AB} ve θ_{BC} açılarının hesabı şu şekilde yapılmaktadır;

$$OD + DC = OA + AB + BC$$

$$40i + 54j = 27 * (\cos 30i + \sin 30j) + 15 * (\cos \theta_{AB}i + \sin \theta_{AB}j) + 30 * (\cos \theta_{BC}i + \sin \theta_{BC}j)$$

$$40 = 27 * \cos 30 + 15 * \cos \theta_{AB} + 30 * \cos \theta_{BC}$$

$$54 = 27 * \sin 30 + 15 * \sin \theta_{AB} + 30 * \sin \theta_{BC}$$

$$OE = 27 * \cos 30 = 23.4 \text{ mm}$$

$$AE = 27 * \sin 30 = 13.5 \text{ mm}$$

$$ED = AF = OD - OE = 40 - 23.4 = 16.6 \text{ mm}$$

$$FC = DC - DF = 54 - 13.5 = 40.5 \text{ mm}$$

$$AC = \sqrt{AF^2 + FC^2} = \sqrt{16.6^2 + 40.5^2} = 43.8$$

$$\tan \alpha = CF / AF = 40.5 / 16.6 \rightarrow \alpha = 67.7^\circ$$

$$BC^2 = AB^2 + AC^2 - 2*AB*AC*\cos\beta$$

$$30^2 = 15^2 + 43.8^2 - 2*15*43.8*\cos\beta \rightarrow \beta = 18.9^\circ$$

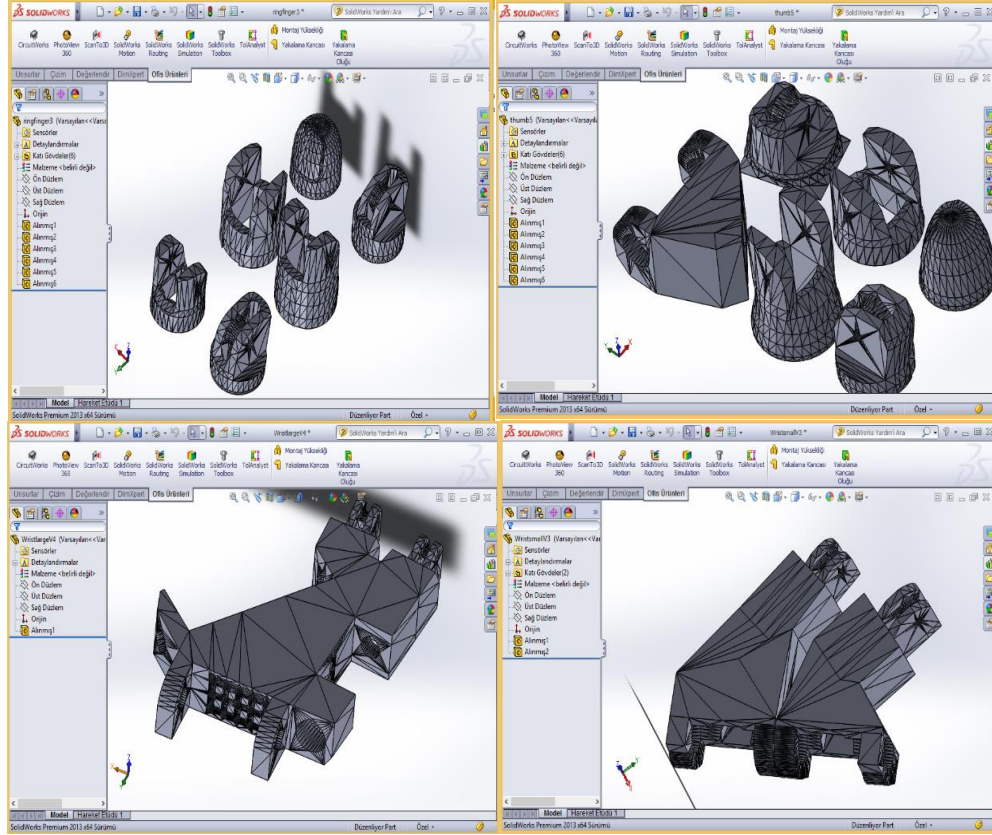
$$\Theta_{AB} = \alpha + \beta = 67.7 + 18.9 \rightarrow \Theta_{AB} = 86.6^\circ$$

$$40 = 23.4 + 15 * \cos(86.6) + 30 * \cos\Theta_{BC}$$

$$\rightarrow \Theta_{BC} = 58.4^\circ$$

4. TASARIM

Projede protez elin katı model çizimleri CAD programında çizilmiştir. Çizilen parçalar .stl uzantısına dönüştürülerek 3D yazıcıda basıma hazırlanmıştır. Protez elin teknik resim detayları için katı modelleme sistemlerinden yararlanılmıştır. Şekil 3'te tasarım aşamasında oluşturulan parçalara ait görsellere yer verilmiştir.



Şekil 3. Robot el parçalarının tasarımları (Parts of robot hand designs)

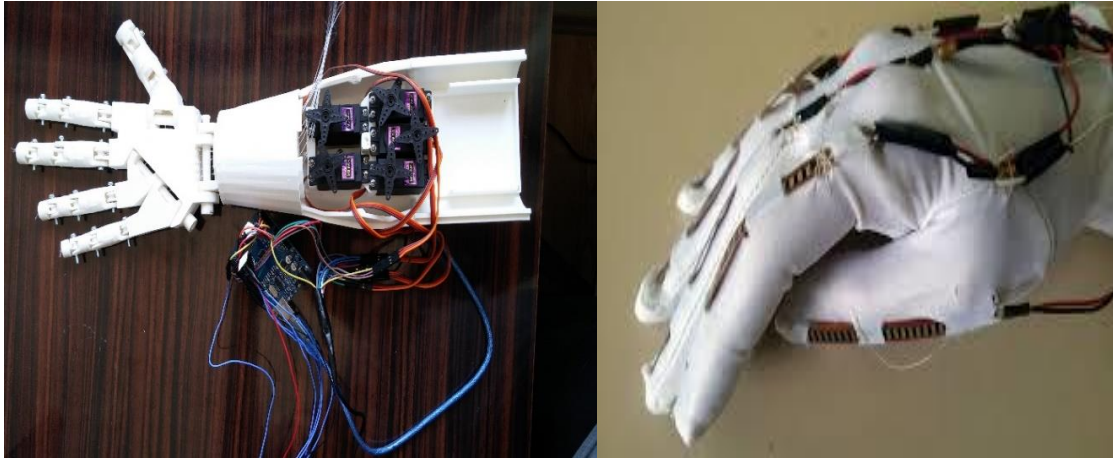


Şekil 4. 3D yazıcı parça çıktıları (3D printer parts output)

Tasarımı gerçekleştirilen parçaların 3D yazıcı ile çıktıkları alınmış ve montaja hazır hale getirilmiştir. Şekil 4'te gösterilen şekliyle baskısı alınan parçaların montajında belirlenen bölgelere servo motorlar konulmuştur.

Mümkün olduğunca ergonomik hareket dikkate

alınarak tasarımı yapılan robot ele ait 3D yazıcı çıktı parçalarının montajlanmış hali Şekil 5'te verilmiştir. Çalışmada sonucu oluşturulan bu robot el Ayrıca PLA malzemeden üretilmiş olması da robot elin taşınabilirliği açısından önem arz etmektedir.



Şekil 5. Montajı tamamlanan robot el (Assembled robot hand)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan testlerde esneklik algılayıcı sensörlerin, insan elinin hareketlerini uygun bir şekilde ölçebildiği görülmüştür. Robot el ile insan eli parmak açılarında %5 oranında açısal farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farkların en önemli nedeni esneklik sensörlerdeki direnç değişiminin voltaj bölücü prensibiyle okunmasıdır. Bu bakımdan her parmağın eklem yerlerinde bağımsız sensörler kullanılarak sistemin performansı artırılabilir. Bir sonraki aşamada; Robotik elin kontrolünü kablosuz hale getirerek sadece parmak değil insan kolunun bütün hareketlerini taklit edebilecek bir sistem tasarımı gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Salvador Cobos, Manuel Ferre, M.A. Sanchez Uran, Javier Ortego and Cesar Pena, "Efficient Human Hand Kinematics for Manipulation Tasks", 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Acropolis Convention Center, Nice, France, 2008
- [2] Chao-Chieh Lan, Che-Min Lin, Chen-Hsien Fan, "A Self-Sensing Microgripper Module With Wide Handling Ranges", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol.16, no.1, pp.141-50,

- doi:10.1109/TMECH.2009.2037495, 2011
- [3] Ryew, S., Hyoukryeol Choi, "Doubleactive universal joint (DAUJ): robotic jointmechanism for human-like motions," in,IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol.17, no.3, pp.290-300, doi: 10.1109/70.938386, 2001
- [4] Malegam, K.D.; D'Silva, M.S., "Mimicking robotic hand-arm," 2011 Annual IEEE India Conference (INDICON), pp.1-5, 16-18, doi: 10.1109/INDCON.2011.6139365, 2011
- [5] Hafiane, S., Salih, Y., Malik, A.S., "3Dhand recognition for telerobotics," 2013IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI), pp.132-137, doi: 10.1109/ISCI.2013.6612390, 2013
- [6] Zhanat Kappassov, Juan-AntonioCorrales, Véronique Perdereau, "Tactile sensing in dexterous robot hands — Review", Robotics and Autonomous Systems, Volume 74, Part A, Pages195-220, ISSN 0921-8890, doi: dx.10.1016/j.robot.2015.07.015, 2015
- [7] Zhe Xu and Emanuel Todorov, "Design of a Highly Biomimetic Anthropomorphic Robotic Hand towards Artificial Limb Regeneration", Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on, DOI: 10.1109/ICRA.2016.7487528, 2016
- [8] Kiyoshi Hoshino, "Copycat Hand - Robot Hand Generating Imitative Behaviour at High Speed and with High Accuracy", Humanoid Robots, New

Developments, Book edited by: Armando Carlos de Pina Filho ISBN 978-3-902613-02-8, pp.582, I-Tech, Vienna, Austria, 2007

[9] Abidhusain Syed, Zamrud Taj H. Agasbal, Thimmannagouday Melligeri, Bheemesh Gudur, "Flex Sensor Based Robotic Arm Controller Using Micro Controller", Journal of Software Engineering and Applications, 364-366, <http://dx.doi.org/10.4236/jsea.2012.55042>, 2012

[10] Jayant Y. Hande, Niket Malusare, SubodhSawarbandhe, HarshalDarbhe, "Design for Robotic Hand Using Flex-sensor", International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE), page 2846-2850, Volume 4, Issue 12, 2015