

GÜVENİLİR OTOMASYON PETRİ NETLERİN XILINX XC2S200 FPGA'SI İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ VE UZAKTAN KUMANDALI KAPI MODELİNİN KONTROL EDİLMESİ

Gökhan GELEN

Murat UZAM

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Niğde Üniversitesi, 51200, NİĞDE

e-posta: ggelen@nigde.edu.tr

e-posta: murat_uzam@nigde.edu.tr

Anahtar sözcükler: Otomasyon ve Kontrol, Donanım Gerçekleştirme, Petri Netler, FPGA.

ÖZET

Bu bildiri; Petri Net temelli bir ayrık olay kontrol sisteminin FPGA kullanılarak gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kontrol edilecek örnek sistem olarak uzaktan kumandalı bir otomatik kapı modeli ele alınmıştır. Bu sisteme ait kontrolör yapısının Güvenilir Otomasyon Petri Net(GOPN) modeli oluşturularak bu model Xilinx XC2S200 FPGA'sı ile gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme işlemi sonucunda elde edilen kontrolör yapısı arzulanan kontrol senaryosunu tam anlamıyla yerine getirmektedir.

1. GİRİŞ

Eşzamanlılık, asenkron çalışma, olay sürümlülük, belirsizlik (non-determinism) ve ikilem gibi özelliklere sahip olan sistemlere Ayrık Olay Sistemleri (AOS) denilmektedir. Esnek imalat sistemleri, bilgisayar ağ sistemleri, çeşitli taşıma sistemleri vb. sistemler AOS'ne örnek olarak gösterilebilir. Grafikselsel ve matematiksel bir araç olarak Petri netler; AOS'nin modellenmesinde, analizinde, dizaynında ve kontrolünde kullanılmaktadır. Bir AOS'nin kontrolü için ilk önce kontrolör yapısının Petri net modeli oluşturulur daha sonra bu model yazılım veya donanım ile gerçekleştirilir. Yazılım gerçekleştirilmesinin düşük veya yüksek seviyeli programlama dilleri kullanılarak yapılması mümkündür [1-2]. PLC temelli bir yazılım gerçekleştirilmesi Uzam ve Jones tarafından yapılmıştır [3]. Petri net temelli modellerin senkron veya asenkron gerçekleştirilmesini donanım tasarımı ile yapmak mümkündür [4]. Bu anlamda senkron donanım tasarımları Chang [5] ve Bulanch [6] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Yazılım temelli gerçekleştirmeler ardışıl yazılan komutların sıralı olarak çalıştığı programlar ile elde edilir. Bu tarz tasarımlar AOS'lerinin eşzamanlılık ve asenkron çalışma özelliklerini tam anlamıyla karşılayamaz. Asenkron donanım tasarımlarında global bir clock işareti mevcut değildir. Asenkron donanım gerçekleştirilmesinde programı lojik kapılardan hafıza elemanları vb. bileşenlerden oluşan

fiziksel devre oluşturur. Asenkron devreler, performans, az güç tüketimi, elektromanyetik emisyon, modulerlik ve yeniden kullanım yönüyle senkron devrelere göre daha iyidir [4]. Lojik devre elemanları kullanılarak Petri net özelliklerinin asenkron donanım gerçekleştirilmesi Uzam tarafından ortaya konmuştur [7].

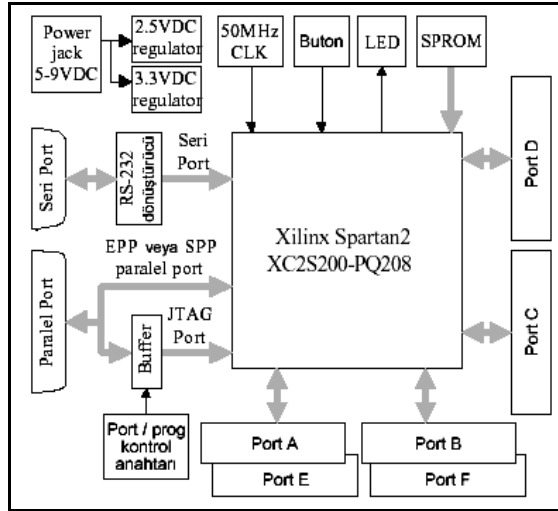
Bu çalışmada Petri net temelli ayrık olay kontrol sistemi yapılarının asenkron donanım gerçekleştirilmesi ele alınmıştır. Bu tip gerçekleştirilmenin temel düşüncesi, Petri net modelindeki her bir mevkinin bir hafıza elemanı (SR flip-flop) ile temsil edilmesine dayanmaktadır. Örnek bir sistem olarak uzaktan kumandalı otomatik kapı modeli kullanılmış ve bu sisteme ait kontrolör yapısının Güvenilir Otomasyon Petri Net (GOPN) modeli oluşturularak bu model Xilinx XC2S200 FPGA'sı ile gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirme işlemi sonucunda elde edilen kontrolör yapısı arzulanan kontrol işlemini yerine getirmektedir.

2. XILINX XC2S200 FPGA'SI VE DIGILAB D2 GELİŞTİRME KARTI

Spartan-II 2.5V Field-Programmable Gate Array (FPGA) ailesi; düşük fiyatına rağmen lojik devre tasarımı için yüksek performans ve zengin donanım özellikleri sunmaktadır. Bu aileye mensup FPGA'lar 200 Mhz gibi yüksek frekanslara kadar çalışabilme özelliği göstermektedirler. Xilinx Spartan 2 XC2S200 FPGA'sının temel özelliklerini 56K bit blok RAM, 75,264 bit dağıtılmış RAM, 16 tane seçilebilir I/O standardı ve dört tane DLL olarak sıralayabiliriz. Spartan-II ailesi bir FPGA kullanılarak yapılan bir tasarımda, FPGA programı istenilen bir değişikliği donanım yer değiştirmesine ihtiyaç duymadan yapma imkanı vermektedir. Bu kolaylık; FPGA'yı Application Specific Integrated Circuits (ASICs) tasarıma göre daha iyi bir yöntem haline getirmektedir [7].

Digilab-2 (D2) FPGA uygulama geliştirme kartı, 200K kapiya sahip PQ208 kılıflı Spartan II XC2S200 FPGA entegresi kullanılarak hazırlanmış bir karttır. D2 üzerinde FPGA'yı enerjilendirmek için iki gerilim

regülatörü (2,5 V ve 3,3 V) bulunur. Kart, FPGA'nın tüm özelliklerinin kolaylıkla kullanılabilceği şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca D2 kartı üzerinde bir osilatör (50 MHz), programlamada kullanılmak üzere bir paralel port, beş telli bir RS-232 portu, bir buton, bir LED ve FPGA'nın 143 kullanıcı I/O ucu için 6 adet 40 pinli DIP soket bulunmaktadır. Şekil 1'de D2 kartının blok diyagramı görülmektedir [9].



Şekil 1 Digilab D-2 Geliştirme Kartı

Digilab 2 uygulama geliştirme kartı ile TTL uyumlu sistemler arasındaki LVTTTL-TTL uyumsuzluğunu gidermek ve sistemin akım kapasitesini artırmak amacıyla, I/O tampon kartı tasarlanmıştır.

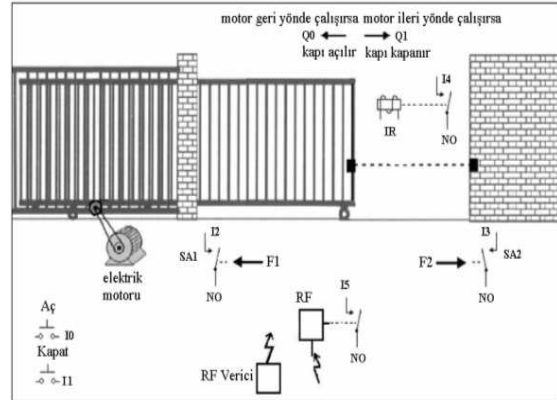
3.UZAKTAN KUMANDALI OTOMATİK KAPI MODELİ

Günümüzde otomatik kontrollü kapı sistemleri sanayide, garaj kapılarında vs. yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapı sistemlerinin mekanik aksamaları ve işleyişleri farklı olmakla beraber, çalışma prensibi ve kontrol açısından bakıldığında, bütün kapı türleri için ortak bir kontrol devresi tasarlamak mümkündür.

Kontrol edilecek otomatik kapı modelinin blok şeması Şekil 2' de görülmektedir [10]. Uzaktan kumandalı kapı modeli dört ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar: Kapı modeli olarak kullanılan CDRom kapağı, Kapı kontrol devresi, IR(Infrared) alıcı-verici devresi ve son olarak ta RF alıcı-verici devresidir.

Kapı modelini oluşturmak için bir CD ROM kapağından yararlanılmıştır. CD ROM içerisinde hazır bulunan DC Motor yardımıyla kapağın açılıp kapanması sağlanmaktadır. Q0 ve Q1 sırasıyla Aç ve Kapat eylemlerini gerçekleştirecek CDRom içerisindeki DC motor kontrol girişleridir. I0 ve I1 ise Aç ve Kapat butonunu simgelemektedir. I0 butonuna basıldığında kapı açılmakta, I1 butonuna basıldığında ise kapı kapanmaktadır. I2 ve I3 kapının tam olarak

açılıp kapandığını algılayan sınır anahtarlarıdır. I4 kapı arasında herhangi bir cisim olup olmadığını algılayan infra-red sensördür. I5 ise RF ile çalışan uzaktan kumanda kontaklarını simgelemektedir.

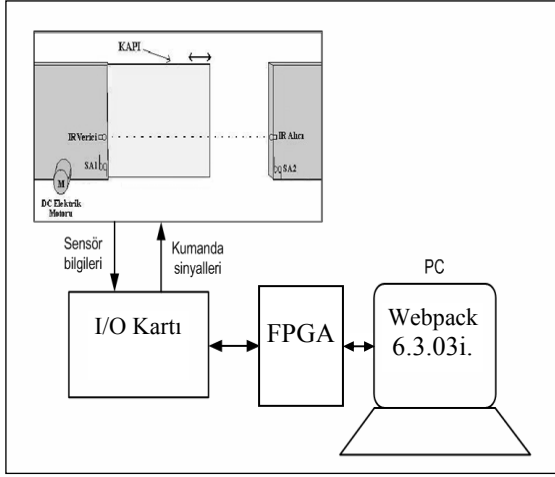


Şekil 2 Uzaktan kumandalı kapı blok şeması

Uzaktan kumandalı otomatik kapının kontrol işlemini gerçekleştirmek için kontrol işlemlerini ve ilk koşulları içeren bir kontrol senaryosuna ihtiyaç vardır. Bu işlemlerin sırası aşağıda verilmiştir.

- Kapının başlangıçta kapalı olduğu kabul edilmektedir.
- Kapı kapalı konumdayken aç butonu (I0) veya uzaktan kumanda sinyali (I5) geldiği zaman kapı açılmaya başlayacaktır.
- Kapı açılıp 1. sınır anahtarı (I2) aktif olunca, kapının açıldığı anlaşılıp motor duracak ve kapı açık konumda bekleyecektir.
- Kapı bu konumdayken kapat butonu (I1) veya uzaktan kumanda sinyali (I5) gelince motor ileri yönde çalışarak kapı kapanmaya başlayacaktır.
- Kapı kapanırken kapı arasına herhangi bir cisim girerse yani I4 sinyalinin oluşmasıyla motor geri yönde çalışmaya başlayacak ve kapı kapanacaktır.
- Kapı tam olarak kapandığında, kapının kapandığını gösteren 2. sınır anahtarı (I3) aktif olunca motor duracak T=5 saniyelik zaman gecikmesi çalışmaya başlayacak, süre dolunca motor tekrar ileri yönde çalışarak kapının kapanmasını sağlayacaktır.

Kapı kontrolünü gerçekleştirmek üzere Şekil 3'te blok diyagramı verilen sistem kurulmuştur. Bilgisayar ortamında WEBpack 6.3.03i. versiyonu şematik dizayn modülü kullanılarak yapılan programlar, paralel port kullanılarak Digilab-2 kartı üzerindeki XC2S200 FPGA sı ile bağdaştırılmıştır. I/O kartı yardımıyla kapı modeline uyumlu bağlantı yapılarak istenilen kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir



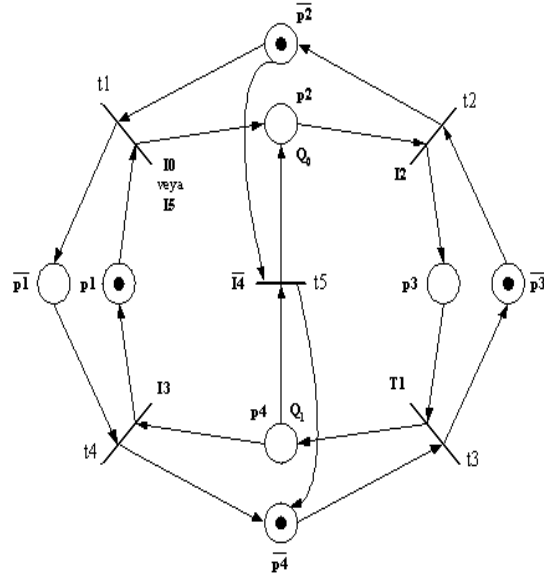
Şekil 3 Kontrol sistemi blok diyagramı

4. KONTROLÖRÜN GOPN MODELİ

Uzaktan kumandalı otomatik kapının bir önceki bölümde belirlenen senaryo çerçevesinde kontrolünü sağlayacak yapının Güvenilir Otomasyon Petri Net modeli Şekil 4'te verilmiştir. GOPN modelinde sekiz tane mevki $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, \bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3, \bar{p}_4\}$ ve $\chi_1 = I_0 \vee I_5$, $\chi_2 = I_2$, $\chi_4 = I_3$ ve $\chi_5 = \bar{I}_4$ tetikleme koşullarına sahip beş tane $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5\}$ geçiş bulunmaktadır. Bunlardan χ_3 geçişi $T_1=5$ saniyelik zaman gecikmesine sahip zamanlı geçiştir. p_1 mevkiisi kapının açık, p_3 mevkiisi kapının kapalı olduğunu göstermektedir. Eğer p_1 mevkiisinde bir jeton bulunmakta ise bu kapının kapalı olduğu anlamına gelir ve $M(p_1)=1$ 'dir. Benzer şekilde p_3 mevkiisinde bir jeton var ise bu da kapının tamamen açık olduğunu göstermektedir. (\bar{p}_2, \bar{p}_4) mevkiileri ise kapının açılmakta ve kapanmakta olduğunu göstermektedir. Eğer p_2 mevkiisinde bir jeton mevcut ise bu motorun geri yönde çalışarak kapının açılması anlamına gelmektedir. Benzer olarak p_4 mevkiisinde bir jeton mevcut ise bu motorun ileri yönde çalışmasını ve kapının kapanmasını sağlamaktadır. Modelde gerçek mevkilerin (p_1, p_2, p_3, p_4) yanı sıra her gerçek mevkinin yanında bir de gölge $(\bar{p}_1, \bar{p}_2, \bar{p}_3, \bar{p}_4)$ mevki eklenmiştir. Modelde gölge mevkiler eklenerek modelin güvenilir otomasyon Petri Net'i yani her mevkinin bir sınırlı olması garanti altına alınmıştır. Sistemde ilk koşul olarak kapının kapalı olduğu kabul edilmiştir. Buna göre başlangıçta p_1 mevkiisi içerisinde bir jeton bulunmaktadır. t_1 geçişinin tetikleme koşulu $(\chi_1 = I_0 \vee I_5)$ sağlandığında yani Aç butonuna (I_0) basıldığında veya RF (I_5) uzaktan kumanda bilgisi geldiğinde t_1 geçişi tetiklenir ve p_1 mevkiisindeki jeton p_2 mevkiisine geçer. p_2 mevkiisinde bir jeton bulunması motorun geri yönde çalışarak kapının açılmasını sağlamaktadır. p_2 mevkiisinde bir jeton varken yani kapı açılıyorken t_2 geçişi tetiklenirse yani kapı açıldı (I_2) sınır anahtarı

bilgisi gelince t_2 geçişi tetiklenir ve p_2 mevkiisindeki jeton p_3 mevkiisine geçer bu da kapı tamamen açıldı anlamına gelir.

Kapı tam açıldıktan sonra yani p_3 mevkiisine bir jeton geçtikten sonra $T_1=5$ saniyelik zaman gecikmesi başlar. Beş saniye sonunda t_3 geçişi tetiklenir ve p_3 mevkiisindeki jeton p_4 mevkiisine geçer. Böylece motor ileri yönde çalışarak kapıyı kapatır. Kapı kapandıktan sonra kapanın tam olarak kapanmasını algılayan sınır anahtarı bilgisinin (I_3) gelmesiyle t_4 geçişi tetiklenir ve p_4 mevkiisindeki jeton p_1 mevkiisine geçer. Bu motorun durduğu ve kapının tam olarak kapandığı anlamına gelmektedir.



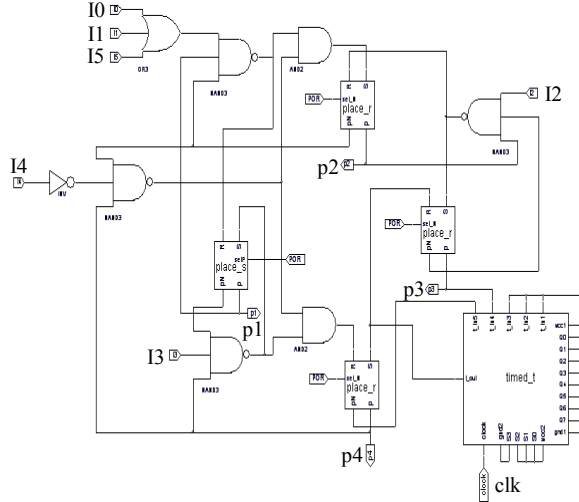
Şekil 4 Kontrolörün GOPN Modeli

Kapının kapanması esnasında kapı aralığına bir cisim girerse bu durum infra-red sensör (I_4) ile algılanmaktadır. Kapı arasına bir cismin girmesi durumunda I_4 girişi lojik "0" olmaktadır. Bu nedenle t_5 geçişi \bar{I}_4 ile tetiklenmektedir. p_4 mevkiisinde bir jeton varken yani kapı kapanıyorken t_5 geçişi tetiklenirse yani kapının aralığına bir cisim girerse t_5 geçişi tetiklenir ve p_4 mevkiisindeki jeton p_2 mevkiisine geçer. Bu kapının kapanıyorken arasına bir cisim girmesi sonucu kapının tekrar açılması demektir.

5. GOPN MODELİNİN FPGA İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Şekil 4'te verilen GOPN modelini direk dönüşüm metodu kullanarak gerçekleştirmek mümkündür [7]. Bu metodun temelini başlangıç jeton dağılımından istenilen jeton dağılımına göre durumunu değiştiren lojik devre oluşturmaktadır. Bu metodda şu üç yol izlenmektedir. i) GOPN modelindeki her mevki bir hafıza elemanı (örneğin SR Flip Flop) ile gerçekleştirilmiştir. ii) GOPN modelindeki her geçiş bir lojik kapı (NAND Kapısı) ile gerçekleştirilmiştir. iii) başlangıç koşulları RC (Direnc Kondansatör)

devresi ile sağlanmıştır. Bu yöntem kullanılarak Şekil 4'te görülen GOPN modelini Xilinx XC2S200 FPGA'sı ile gerçekleştirmek için tasarlanan şematik program Şekil 5'te verilmiştir. Bu çizimde görülen timed_t modülü zamanlı geçişi gerçekleştirmek için gerekli olan zaman gecikmesinin elde edildiği frekans bölücü devreler içeren bir bloktur.



Şekil 5 FPGA şematik programı

GOPN modelini gerçekleştirecek devre tasarımının ardından Xilinx Project Navigator 6.3.i yazılımı kullanılarak bu şematik program FPGA'ya aktarılmıştır. Digilab D2 geliştirme seti kullanılmak suretiyle bu sistem başarılı bir şekilde kontrol edilmiştir. Tasarım için kullanılan FPGA bileşenleri ve miktarı aşağıda verilmiştir.

Flip-Flop Sayısı:	40/4704	%1
LUT Sayısı:	8/4704	%0.17

3. SONUÇ

Bu bildiriye; bir Petri net temelli ayrık olay kontrol sisteminin FPGA kullanılarak gerçekleştirilmesi başarı ile sağlanmıştır. Uzaktan kumandalı kapı modeli için tasarlanan Petri net modeli FPGA kullanılarak, direk asenkron devre elemanları ile gerçekleştirme metodu [7] yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde kullanılan Xilinx XC2S200 FPGA'sı bünyesinde 200000 lojik kapı bulundurmaktadır. Bu tasarım toplam kapıların %1'inden daha az kapı ile gerçekleştirilmektedir. Yeni nesil FPGA'ların 1000 tane I/O pini, 5 milyon tane sistem kapısı ve 300 MHz. çalışma frekansına sahip olduğu düşünülürse en karmaşık endüstriyel sistemlerin bile FPGA ile kontrol edilmesi mümkündür. Bu çalışma ile FPGA'ların Petri net temelli ayrık olay kontrol sistemlerinin gerçekleştirilmesinde etkin bir araç olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Hendry, D.C., Heterogeneous Petri net methodology for design of complex controllers. IEE PROC. COMPUT. DIGT. TECH. 141 (5), 293-297. (1994).
- [2] Stefano A. D. & Mirabella, O., A fast Petri-net-based sequence controller implemented on a DSP. INT. JRN. OF ADVANCED MANUFACT. TECH, 9, 375-381. (1994).
- [3] Uzam, M. & Jones, A.H., Discrete event control system design using automation Petri nets and their ladder diagram implementation. INT. JRN. OF ADVANCED MANUFACT. TECH., 14(10), 716-728. (1998).
- [4] Yakovlev, A.V. & Koelmans, A.B., Petri nets and digital hardware design. LNCS, Lectures on Petri Nets II: Applications, Advances in Petri Nets, W. Reisig & G. Rozenberg (Eds.), Springer, 154-236 (1998).
- [5] Chang, N., Kwon, W.H. & Park, J., Hardware implementation of real-time Petri-net-based controllers. CONT. ENG. PRACTICE, 6(7), 889-895. (1998).
- [6] Bulanch, S., Brauchle, A., Pflaiderer, H.-J. & Kucеровsky, Z., Design and implementation of discrete event control systems: a Petri net based hardware approach. DISCRETE EVENT DYNAMIC SYSTEMS: THEORY AND APPLICATIONS, 12(3), 287-309, (2002).
- [7] Uzam, M., Yalçın M. K., & Avcı, M., Digital hardware implementation of Petri net based specifications: direct translation from safe automation Petri nets to circuit elements. INT. WORKSHOP ON DISCRETE EVENT SYSTEMS DESIGN, Przytok near Zielona Gora, Poland pp. 25-33, (2001).
- [8] Xilinx Spartan-II 2.5V FPGA Family: Complete Data Sheet, DS001-1, <http://www.xilinx.com/>, (2003).
- [9] Digilab 2 Reference Manual, www.digilentinc.com, 7 Mayıs 2002
- [10] M. Can, M. K. Yalçın ve M. Uzam, RF ile Uzaktan Kumandalı Otomatik Kapının Gerçekleştirilmesi, III. ULUSAL PROJE ARANIYOR'03 ÖĞRENCİ SEMPOZYUMU, Kayseri, s. 57-62, 28-30 Nisan 2003.