

AYRIK OLAY KONTROL SİSTEMLERİNİN PETRİ AĞLARI İLE TASARIMI VE PROGRAMLANABİLİR LOJİK DENETLEYİCİLERLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Murat UZAM¹ Gökhan GELEN² İ. Burak KOÇ³ B. Hakan AKSEBZECİ⁴

^{1,2,3,4} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Niğde Üniversitesi, Kampüs, 51100, NİĞDE

¹e-posta: murat_uzam@nigde.edu.tr

²e-posta: ggelen@nigde.edu.tr

³e-posta: burakkoc@yahoo.com

⁴e-posta: bekirhakan@yahoo.com

Anahtar sözcükler: Ayrık Olay Sistemleri, Petri Ağları, PLC, basamak diyagramı, MOELLER EASY 412-DC-RC PLC.

ABSTRACT

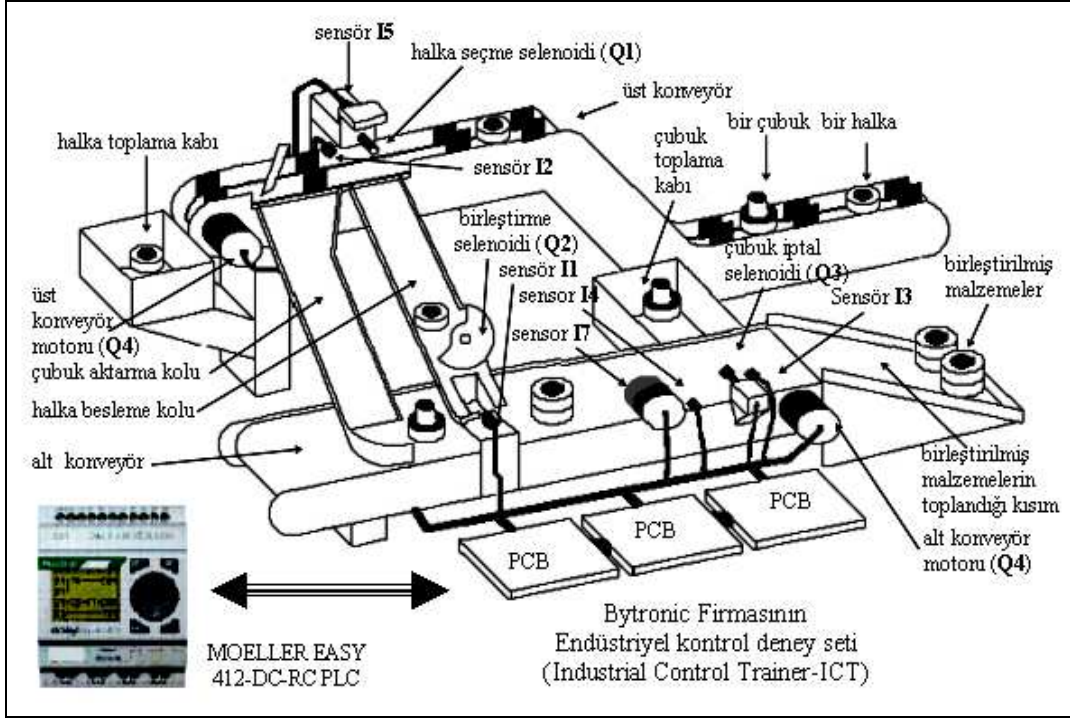
Man made systems such as namely manufacturing systems, communication networks and robots are classified as Discrete Event Systems (DES). Nowadays, especially in academic studies, Petri Nets are widely used for controlling of DES but they aren't widely used in practice. The aim of this paper is to show how Petri nets can be used for modelling of Discrete Event Control Systems (DECS) and how the obtained model can be implemented with a PLC. For illustration an experimental DES is used.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler sonucunda imalat sistemleri, haberleşme ağları, robotlar v.b. gibi alanlarda bir çok uygulamalar buldu. Adı geçen bu alanlar ayrık olay sistemleri (discrete event systems) olarak adlandırılmaktadır. Ayrık olay sistemlerinin ihtiva ettiği paralellik, asenkron çalışma, belirsizlik (non-determinism) v.b. gibi özelliklerin, ayrık eşitliklerle modellenen sürekli veya senkron ayrık değişkenlerle ilgilenen geleneksel kontrol teorisi ile tanımlanmasının zorluğu sebebiyle ayrık olay sistemleri modern endüstriyel sistemlerin kontrol problemleriyle ilgili yeni bir disiplin olarak ortaya çıkmıştır. Önceleri çok karmaşık olmadıkları için bu tür sistemlerin kontrolü deneme yanılma ile ve kontrol mühendisinin becerisi sayesinde gerçekleştirilebilmekteydi. Fakat ayrık olay sistemlerinin daha karmaşık hale gelmesiyle birlikte bu sistemlerin daha etkin bir şekilde formal olarak tasarlanması ve gerçekleştirilmesi daha fazla önem kazandı. İlk ciddi çalışmalar sonlu durum makinalarının (finite state machine) kullanılmasını öngörmekteydi [1]. Fakat, sistemin büyümesiyle birlikte kullanılması gereken durum sayısının çok fazla artması ve sonlu durum makinalarıyla modellenen bir sistemin grafik olarak anlaşılmasının güçlüğü gibi sebeplerden dolayı bu yöntem pratik olmaktan uzaktır. Alternatif bir yöntem ise Petri Ağı kullanımıdır. Petri Ağlarının ayrık olay sistemlerinin

modellenmesi, formal analizi ve tasarımı için kullanılan başka bir grafik ve matematik yöntemidir. Petri Ağları ilk kez bir Alman matematikçi Carl A. Petri tarafından ortaya atılmıştır [2]. Günümüze dek bir çok sahada kullanım alanı bulmuş ve halen değişik alanlara uygulanmak üzere geliştirilmekte olan Petri netlerle ilgili olarak detaylı bilgi için okuyucu şu kaynaklara bakmalıdır : [3, 4, 5]. Günümüzün modern endüstriyel sistemlerinde programlanabilir lojik denetleyiciler (PLC) otomasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesinde bir vazgeçilmez olarak karşımıza çıkmaktadır. PLC'lerin programlanmasında yaygın olarak kullanılan basamak diyagramlarının (ladder logic diagrams) Petri Ağları ile elde edilmesine ait çalışmalar [6] ve bunların gerçek problemlere uygulanması [7] dikkate değer gelişmeler olmuştur. Otomasyon Petri Ağları [8, 9] ise normal Petri Ağları geliştirilerek endüstriyel kontrol sistemlerinin tasarımında ve dolayısıyla da gerçekleştirilmesinde kolaylık sağlamıştır. Günümüzde, özellikle akademik alanda, ayrık olay sistemlerinin denetimi için Petri Ağları çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Maalesef, Petri Ağlarının pratik alanda kullanımı henüz yaygınlık kazanmamıştır. Bu çalışmada, bir örnek ayrık olay sistem yardımıyla Petri Ağlarının denetim sisteminin modellenmesinde nasıl kullanıldığı ve elde edilen denetim sistemi modelinin bir Programlanabilir Lojik Denetleyici (PLC) ile nasıl gerçekleştirildiği gösterilmektedir. Bu sebeple, bu bildirinin amacı ayrık olay sistemlerinin denetimi için Petri Ağlarının kullanımı hakkında konu ile ilgili uzmanlara son gelişmeleri aktarmak ve bu yöntemin kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaya hizmet etmek olarak özetlenebilir.

Bu çalışmanın ikinci kısmında, Petri Ağlarının ayrık olay sistemlerinin denetiminde kullanımı bir örnek ile incelenmiştir. Üçüncü kısımda bu sistemin denetimi için bir Petri Ağı modeli verilmiştir. Bu modelin bir basamak diyagramına nasıl dönüştürüleceği dördüncü kısımda anlatılmıştır. Son kısımda ise sonuçlar verilmiştir.



Şekil-1. Örnek bir ayrık olay sisteminin MOELLER EASY 412-DC-RC PLC'si ile kontrolü.

2. DENEYSEL ENDÜSTRİYEL KONTROL SİSTEMİ

Şekil-1'de görülen endüstriyel kontrol deney seti parça tanıma, birleştirme ve reddetme işlemlerinin yapılmasında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Üst konveyör ve alt konveyör sırasıyla üst konveyör motoru ve alt konveyör motoru ile çalıştırılmaktadır. Metal çubuklar ve plastik halkalar rastgele bir şekilde üst konveyör tarafından seçme işleminin yapılacağı seçme bölgesine taşınırlar. Metal çubuk ile plastik halkayı birbirinden ayırmak için iki sensör (I2: proximity sensör, I5: infra-red (IR) reflective sensör) kullanılmaktadır. Halka seçme selenoidi (Q1) ile plastik halkalar, halka toplama kolu üzerine aktarılırlar. Halka besleme kolu üzerine maksimum beş tane halka yerleştirilebilir. Metalik çubuklar ise üst konveyörden alt konveyöre çubuk aktarma kolu üzerinden aktarılırlar. Sensör I1 (infra-red emitter/detector) birleştirme noktasının boş olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Eğer birleştirme noktası boş ise birleştirme selenoidi (Q2) halka besleme kolundan birleştirme noktasına bir plastik halka aktarmak için kullanılır. Birleştirme noktası alt konveyörün biraz üzerine yerleştirilmiştir ve bir metalik çubuk alt konveyör üzerinden bu noktadan geçtiği anda burada bulunan plastik halka ile birleşir. Böylece metalik çubuk ile plastik halka birleştirilmiş olur. Alt konveyör birleştirilmiş parçaları toplama kabına iletir. Üst konveyörde kullanılmayan plastik halkalar halka toplama kabına birikir.

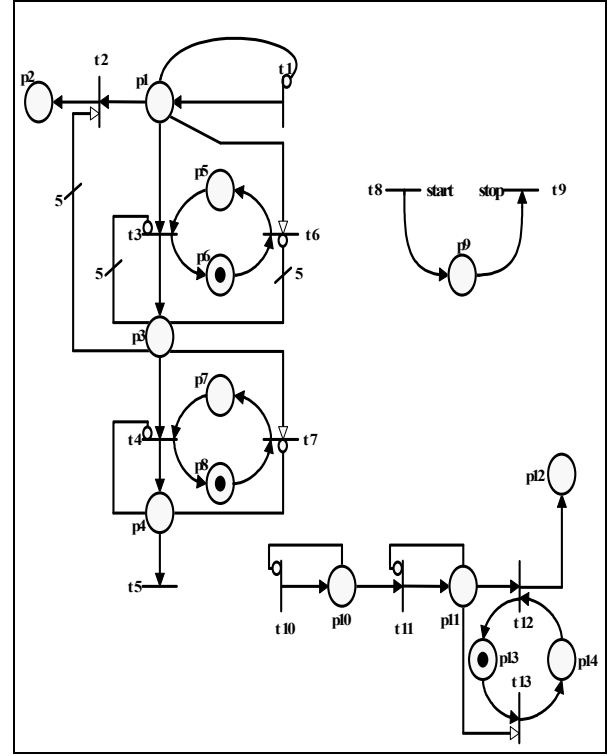
Alt konveyörde bulunan iki sensör (kapasitif sensör I7 ve IR reflektif sensör I4) yardımıyla alt konveyördeki

birleştirilmiş malzemelerle birleştirme işleminde kullanılmamış tek metal çubukları birbirinden ayırdetmek mümkündür. Böylelikle, tek metal çubuklar tespit edilerek çubuk iptal selenoidi (Q3) ve bir sensör (IR reflektif sensör I3) yardımıyla çubuk toplama kabına itilir. Şekil-1'den de görüleceği gibi, bu örnekte sistemi kontrol etmek için bir MOELLER EASY 412-DC-RC PLC kullanılmıştır. Bu PLC ve SIEMENS firmasına ait LOGO marka PLC'ler özellikle çok fazla giriş-çıkış gerektirmeyen küçük uygulamalar için ve eğitim amaçlı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. MOELLER EASY 412-DC-RC PLC'ye ait teknik özellikler şu şekildedir: Çalışma gerilimi: 24 V DC -15% $+20\%$; 20,4 V – 28,8 DC; Çalışma akımı: 80 mA; Giriş Akımı (I1,...I8), Empedansı (K Ω): 80 mA, 11.2; Giriş Sayısı (I) 8 adet (I7-I8 dijital ya da analog giriş); Çıkış Kontak akımı: 0-8 A; Çıkış Kontak Gerilimi 0-240 V AC; Çıkış sayısı (Q) 4 adet; Ekran LCD 4 satır; Hafıza 120 kontak,41 basamak; 0 sinyali < 5.0 V DC I1 - I8; 1 sinyali > 15.0 V DC I1 - I6; Giriş Akımı (I1,...I8) 80 mA; Güç, Ağırlık, Ebatlar (WxHxDmm) 2W, 200gr, 71.5x90x53. Bazı röle türleri: Q, Çıkış Rölesi, 4 adet; TT, Zaman rölesi bobini, 8 adet; CC, Sayıcı bobini, 8 adet; M, Marker Röle, 16 adet. Bazı kontak sembolleri: I, giriş kontaktları, (1, ..., 8); Q, çıkış kontaktları, (1, ..., 4); T, zaman rölesi kontağı, (1, ..., 8); C, sayıcı kontağı, (1, ..., 8); M, marker röle kontağı, (1, ..., 16). Buna göre, Şekil-1'de görülen endüstriyel kontrol deney setinin yukarıda anlatılan şekilde kumandasının gerçekleştirilmesi istenmektedir. İlave olarak, halka toplama kabında biriken halkaların ve çubuk toplama kabındaki çubukların sayısının belirlenmesi istenmektedir.

Şekilden de görüleceği gibi halka seçme selenoidini, birleştirme selenoidini ve çubuk iptal selenoidini çalıştırmak için sırasıyla Q1, Q2 ve Q3 PLC çıkışları kullanılmıştır. Toplam 4 adet PLC çıkışı olduğundan dolayı alt konveyör motoru ve üst konveyör motoru aynı çıkış kullanılarak (Q4) çalıştırılmıştır. Sistemdeki sensörlerle ilgili kullanılan PLC girişleri de Şekil-1’de görülmektedir.

3. DENEYSEL ENDÜSTRİYEL SİSTEMİN KONTROLU İÇİN PETRİ AĞI MODELİ

Bir önceki kısımda anlatılan sistemin çalışması ile ilgili denetim sistemi Şekil-2’de görülen Petri Ağı ile modellenmiştir. Bu modele ait *mevkilere* (place) ait detaylı bilgi Tablo-1’de verilmiştir. Bu modelin elde edilmesinde dikkat edilen hususlar kısaca şunlardır: Başlangıç anında sistemde herhangi bir parçanın bulunmadığı varsayılmıştır. p1 mevkisindeki bir jeton (token) halka seçme selenoidinin önündeki bir halkayı; p2 mevkisindeki jetonlar halka toplama kabında biriken plastik halkaları; p3 mevkisindeki jetonlar (maksimum 5 tane) halka besleme kolundaki halkaları; p4 mevkisindeki bir jeton ise birleştirme noktasında bulunan bir halkayı; p5 mevkisindeki bir jeton halka seçme selenoidinin ON durumunu ve p6 mevkisindeki bir jeton ise halka seçme selenoidinin OFF durumunu; p7 mevkisindeki bir jeton birleştirme selenoidinin ON durumunu ve p8 mevkisindeki bir jeton ise birleştirme selenoidinin OFF durumunu; p9 mevkisindeki bir jeton sistemin çalışmakta olduğunu ve alt ve üst konveyör motorlarının ON durumunu; p10 mevkisindeki bir jeton atılacak bir metal çubuğu; p11 mevkisindeki bir jeton atılacak bir metal çubuğun çubuk iptal selenoidinin önünde olduğunu; p12 mevkisindeki jetonlar çubuk toplama kabında biriken metal çubukları; p13 mevkisindeki bir jeton çubuk iptal selenoidinin OFF durumunu ve p14 mevkisindeki bir jeton ise çubuk iptal selenoidinin ON durumunu temsil etmektedir. Geçiş t1 bir plastik halkanın parça seçme selenoidinin önüne geldiğini, geçiş t2 ise burada bulunan bir halkanın toplama kabına doğru gittiğini gösterir. 1 saniyede gerçekleşen t3 geçişi bir halkanın halka besleme koluna doğru aktarıldığını; 0,7 saniyede gerçekleşen t4 geçişi bir halkanın halka besleme kolundan birleştirme noktasına aktarıldığını ve t5 geçişi de birleştirme noktasında bulunan bir halkanın bir çubuk ile birleşerek bu kısmı terk ettiğini temsil eder. Burada birleşme işlemi için 1.5 saniyelik bir zaman gecikmesi gerekmekte olduğuna dikkat edin. t6 geçişi halka seçme selenoidinin OFF durumundan ON durumuna geçirilmesini ve benzer şekilde t7 geçişi de birleştirme selenoidinin OFF durumundan ON durumuna geçirilmesini temsil eder. t8 ve t9 geçişleri sırasıyla, sistemin çalışmaya başlamasını ve durdurulmasını temsil eder. t10 geçişi atılacak bir metal çubuğun çubuk iptal selenoidine doğru gittiğini ve t11 geçişi de bu atılacak metal çubuğun çubuk iptal selenoidinin önünde olduğunu ifade eder. t12 geçişi atılacak metal çubuğun çubuk toplama kabına atıldığını gösterir. T13 geçişi çubuk iptal selenoidinin OFF durumundan ON durumuna geçirilmesini temsil eder. Parça seçme selenoidinin önünde mevcut bir halka olduğunda ve halka besleme kolu dolu olmadığında, 1,5 saniye süresince (geçiş t3) parça seçme selenoidi çalıştırılır (geçiş t6). Benzer şekilde, birleştirme noktasında mevcut bir halka bulunmadığında ve halka besleme kolu dolu olduğunda, 0,7 saniye süresince (geçiş t4) birleştirme selenoidi çalıştırılır (geçiş t7).



Şekil-2. Deneysel Endüstriyel Sisteminin Denetimi İçin Bir Petri Ağı Modeli

4. PETRİ AĞI MODELİNİN BASAMAK DİYAGRAMINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Petri Ağlarından basamak diyagramlarına dönüşüm için önerilen *jeton aktarma lojisi* (Token passing Logic-TPL) adındaki genel metod [6], daha sonraları özel PLC’lerde kullanıldı [7, 8]. Buna göre, bir Petri Ağını ilgili basamak diyagramına dönüştürmek için öncelikle mevkilerdeki jetonları temsil etmek için her bir mevkiye, mevkide bulunabilecek maksimum jeton sayısı 1 ise bir bayrak (flag, marker veya dahili röle) ya da bu sayı 1’den çok ise bir sayıcı (counter) atanır.

Zamanlama işlemleri için de ilgili mevki ya da geçişe zamanlayıcı (on delay timer) atanır. Bu atama işlemlerinin yapılmasından sonra elde edilen Petri Ağı Otomasyon Petri Ağı (OPA) olarak isimlendirilir. Bundan sonra yapılacak işlem ise Petri Ağının çalışma şeklinin OPA kullanılarak basamak diyagramına direk olarak dönüştürülmesidir. Bu çalışmada kullanılan ve

Şekil-2’de görülen denetim sistemiyle ilgili Petri Ağı modeline ait mevki ve geçişlere yapılmış olan atamalar ise Tablo-2’de verilmiştir. Bu atamalarla birlikte elde edilen OPA modelinin MOELLER EASY 412-DC-RC PLC’inde kullanılan basamak diyagramına dönüştürülmüş hali Şekil-3’te görülmektedir. Bu diyagramın MOELLER EASY 412-DC-RC PLC’inde kullanılan şekli görüntü itibarıyla biraz farklı olmakla birlikte, Şekil-3’te görülen diyagram ANSI/CSA standardına göre çizilmiştir. Buna göre, Şekil-3’teki basamak diyagramını inceleyecek olursak: 1. basamaktaki başlangıç şartı sistemin ilk anda gerekli konuma gelmesini sağlar. 2. basamaktan 17nci basamağa kadar olan kısımda t1, t2, ..., t13 geçişleriyle ilgili PLC kodları görülmektedir. t3, t4 ve t5 geçişlerinin zaman gecikmeli geçiş olduğuna ve herbirine sırasıyla T1, T2 ve T3 düz zaman rölelerinin atanmış olduğuna dikkat ediniz. Motorlar ve selenoidlerin çalışması ile ilgili çıkışlar 18. basamaktan 21. basamağa kadar olan kısımda yer alır. Son basamak halka toplama ve çubuk toplama kabında biriken parçalara ait sayıları PLC’de gözlemlemek için ilave edilmiştir. Sonuçta, Şekil-3’te görülen PLC programı (basamak diyagramı) Şekil-1’de görülen MOELLER EASY 412-DC-RC PLC’ye yüklenmiş ve bu PLC deney setine bağlanarak istenildiği şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

Tablo-1. Petri Ağı modelinde kullanılan mevkilerin anlamı.

Petri Ağı Mevk.	Yorum	Jeton Kapst
p1	Parça seçme alanı	1
p2	Halka toplama kabı	>>
p3	Halka besleme kolu	5
p4	Birleştirme selenoidi	1
p5	Halka seçme selenoidinin On durumu	1
p6	Halka seçme selenoidinin Off durumu	1
p7	Birleştirme selenoidinin On durumu	1
p8	Birleştirme selenoidinin Off durumu	1
p9	Alt ve Üst konv. motorlarının On drm.	1
p10	Atılacak tek metal çubuk	1
p11	Atılacak tek metal çubuk , çubuk iptal selenoidinin ötünde	1
p12	Çubuk toplama kabı	>>
p13	Çubuk iptal selenoidinin Off durumu	1
p14	Çubuk iptal selenoidinin On durumu	1

5. SONUÇ

Bu çalışmada, deneysel örnek bir sistem yardımıyla ayrık olay kontrol sistemlerinin tasarımında Petri Ağlarının kullanımı anlatılmıştır. Ayrık olay sistemlerinin Petri Ağları yardımıyla tasarımında günümüzde pek çok çalışma yapılmaktadır. Bunun sebepleri şunlardır: Model ile modellenen sistem arasında bir benzerlik kurulabildiğinden Petri Ağları görsel bir modelleme yöntemidir. Petri Ağlarının analiz edilmesiyle sistem davranışı rahatlıkla incelenebilmektedir. Böylelikle kontrol kodu gerçek sistem üzerinde denenmeden önce sistemin davranışı incelenebilmektedir. Bu da sistemin kısa sürede

gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. İstenilen çalışma şekline sahip olduğu doğrulanmış Petri Ağı modeli direk olarak kontrol koduna çevrilebilmektedir. Elde edilen kontrol kodu ile model arasında birebir ilişki olduğundan olası hatalar kolaylıkla bulunabilmektedir

Tablo-2. Petri Ağı modelinde kullanılan geçişlere ve mevkilere yapılmış olan atamalar

Geçişler	Atanmış sensörler	Atanmış zaman gecikmesi	Mevkiler	Atanmış sayıcı(C) ya da bayraklar(M)	Atanmış çıkışlar
t1	I2&I5	-	p1	M1	-
t2	I2	-	p2	C1(set 9999)	-
t3	I2	T1 = 1 s.	p3	C2(set 5) & C3(set1)	-
t4	-	T2 = 0,7 s.	p4	M6	-
t5	I1	T3 = 1,5 s.	p5	M2	Q1
t6	-	-	p6	M3	-
t7	-	-	p7	M4	Q2
t8	-	-	p8	M5	-
t9	-	-	p9	M7	Q4
t10	I4&I7	-	p10	M8	-
t11	I3	-	p11	M9	-
t12	I3	-	p12	C4(set 9999)	-
t13	-	-	p13	M10	-
			p14	M11	Q3

KAYNAKLAR

- [1] Ramadge P.J. and Wonham W.M., The Control of Discrete Event Systems, PROCEEDINGS OF IEEE, vol. 77, No. 1, pp. 81-98, 1989.
- [2] Petri C.A., Kommunikation mit Automaten Schriften des Rheinisch, Westfälischen Inst. für Instrumentelle Mathematik und der Universität Bonn, 1962.
- [3] Peterson J.L., Petri Net Theory and the Modelling of Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981.
- [4] Murata T., Petri Nets: Properties, Analysis and Applications, PROCEEDINGS OF IEEE, vol. 77, no. 4, pp. 541-580, 1989.
- [5] Zurawski R. and Zhou M.C., Petri Nets and Industrial Applications: A Tutorial, IEEE TRAN. ON INDST. ELECTRO. vol. 41, no. 6, pp. 567-583, 1994.
- [6] Jones A.H., Uzam M., Khan A.H., Karimzadgan D. and Kenway S.B., A General Methodology for Converting Petri Nets Into Ladder Logic: The TPLL Methodology, Proc. of the Rensselaer’s First Int. Conf. on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology - CIMAT’96, France, pp. 357-362, 1996.
- [7] Uzam M. and Jones A.H., Design of a Discrete Event Control System for a Manufacturing System Using Token Passing Ladder Logic, Proc. of the CESA’96 Symp. on Discrete Events and Manufacturing Systems, Lille, France, pp. 513-518, 1996.
- [8] Uzam M., Petri-Net-Based Supervisory Control of Discrete Event Systems and their Ladder Logic

