



EMO



KTÜ



TÜBİTAK

ÖNSÖZ

Giderek gelenekselleşen Elektrik Mühendisliği Ulusal Kongrelerinin beşincisinde Trabzon'da buluşuyoruz. EMO ile KTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nün işbirliği ve İÜBİAK'ın kalkısıyla gerçekleşmekle olan Kongremizin başarılı ve verimli geçmesi umudundayız. Kongre sonuçlarından kıvanç duymak istiyoruz.

Kongre'ye, bugüne kadar yapılmış çalışmalar ve yayınlanmış duyurulardan da ancak içiçiciği gibi, bilinen yöntemlerin yanı sıra gelecek yıllara deneyim aklurabilecek yeni yaklaşımlar uygulanmaya çalışılmıştır. Bildiri özetlerinin değerlendirilmesine katılan uzman sayısının sistematik olarak artması, değerlendirme biçiminin daha da nesnelleştirilmesi, bildiri kitabında yeni yazım ve sunuş biçimlerinin oluşturulması gibi teknik gelişmelerin dışında ilginç olacağı sanılan panellerle güncel sorunların irdelenmesi ve yöresel öğelerle sosyal etkinliklere renk katılması amaçlanmıştır.

Kongrenin hazırlık ve düzenleme çalışmalarında bazı aksaklıklar olmuştur. Öncelikle kongre kararının olması gerekenden daha geç alınabilmiş olması, özel değerlendirme sürecinin posta trafiğinin çok yoğun olduğu bayram dönemlerine rastlaması hem Yürütme Kurulu'nu hem de Kongre'ye katılmak isteyenleri zor durumda bırakmıştır.

Kongrenin düzenlenmesi sırasında edinilen deneyimler ışığında sorunları çözümlenmesi önerilerinin ortaya konması yararlı olacaktır. Bunları kısaca sıralayabiliriz. Örneğin 6. Kongre'nin ya da kısaca EMUK'95'in nerede ve ne zaman yapılacağını şimdiden kararlaştırmak gerekmektedir. Bundan sonra Konferans olarak adlandırılması daha uygun olacak Kongre için sürekli ya da uzun süre görevli bir 'Ulusal Düzenleme Kurulu'nun oluşturulması ve bu Kurul'un temel ilkesel karar ve yöntemleri üretmesi daha elverişli olacaktır. Kongre'nin yapılacağı konumdaki işleri ise 'Yerel Düzenleme Kurulu' üstlenmelidir. 'Bilimsel Değerlendirme Kurulu'nun ile aynılığı bir sınıflandırma ve nitelik belirlenmesi ile bir kere oluşturulması, yalnızca gelişen koşullara göre güncelleştirilmesi düşünülebilir.

CMUK, böylesi bir yapılaşma ile daha sağlıklı, zaman planlaması daha verimli bir konferansa dönüşecektir kanısındayız. Örneğin bu durumu bildiri tam metninin değerlendirme ve denetim sürecine getirmeleri olanaklı kılınacak, şu ana kadar ancak Yürütme Kurulu'nun ayrıntılı olarak bilincine varabildiği teknik sorunlar ortadan kalkacaktır. Konferansda teknik içerik ve düzey açısından belirli bir iyileştirme sağlanabilecektir. Bunu en yakında, FiMUK'95'de gerçekleşmiş olarak görmek dilemişimdir.

Bilindiği gibi Kongremiz Elektrik, Elektronik-Haberleşme, Kontrol ve Bilgisayar Sistemleri alanlarında bilimsel, teknolojik özgün katkıların tartışılıp değerlendirilmesi, araştırma, geliştirme, uygulama ve eğitim süreçlerindeki kişi ve kuruluşların birbiriyle doğrudan iletişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Ayrıca sosyal yakınlaşma ve dayanışmaya da

katkıda bulunmaktadır. Ancak Kongre ve onunla birlikte oluşturulan sergi/fuarın çok değerli bir 'Mesleki Eğitim ve Geliştirme' aracı olduğu bilincinin kişi ve kurumlarda daha çok yerleşmesi için çaba gösterme gereği de ortaya çıkmaktadır.

Kongrenin gerçekleşmesini sağlayan, hazırlık ve düzenlemeleri üstlenen KTÜ, EMO ve TÜBİTAK'a, oluşturulmuş olan kurulların üyelerine, ayrıca burada adlarını saymakla bitmeyecek kişi ve kamu - özel - akademik nitelikli kuruluşlara, yardım ve katkıları nedeniyle, Kongre'nin yararlı sonuçlarını paylaşacak olan topluluğumuz adına teşekkürlerimizi sunmak isteriz.

Kongremizin başarılı ve verimli bir biçimde gerçekleşmesi, ülkemiz için bilimsel - teknolojik kazanımlar üretmesi dileğiyle Yürütme Kurulu olarak saygılarımızı iletiriz.

Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN
Yürütme Kurulu Başkanı

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

YÜRÜTME KURULU

Güven ÖNBİLGİN (K1U)
Yakup AYDIN (EMO) Sefa AKPINAR (KTU)
Canan TOKER (ODTUL) Kaya BOZOKLAR (EMO)
Hasan DİNCER (KTU) A.Oğuz SOYSAL (IU)
Abdullah SEZGİN (KTU) İrfan SENLİK (EMO)
Kenan SOYKAN (EMO) Y.Nuri SEVGEN (EMO)

DANIŞMA KURULU

Rasim ALDEMİR (BARMEK) Mehmet KESİM (Anadolu U)
Teoman ALPTURK (TMMOB) Macit MUTAF (EMO)
Ahmet ALTINEL (TEK) Erdiñç ÖZKAN (PTT)
İbrahim ATALI (EMO) Kamil SOĞUKPINAR (TETSAN)
Malik AVİRAL (ELİMKO) Sedat SİSBOT (METRONİK)
Emir BİRGUN (EMO) Atıf URAL (Kocaeli U.)
Sıtkı CİÇDEM (EMO) I. Ata YİĞİT (EMO)
R. Can ERKÖK (ABB) Fikret YÜCEL (TELETAS)
Bülent ERTAN (ODTÜ) Hamit SERBEST (CU)
Uğur ERTAN (BARMEK) Canan TOKER (ODTÜ)
İsa GÜNGÖR (EMO) Nusret YUKSELER (ITU)
Ersin KAYA (Kaynak) Kemal DZMEHMET (DEU)
Okyay KAYNAK (Boğaziçi U)

SOSYAL ETKİNLİKLER KURULU

Y. Nuri SEVGEN (EMO)
Necla ÇORUH (PTT) Hatice SEZGİN (KTU)
Esen ÖNKİBAR (TEK) Yusuf TANDOĞAN (PTT)
Abdullah SEZGİN (KTU) Ömer K. YALCIN (TELSER)

SEKRETERLİK HİZMETLERİ

Necini İKİNCİ (EMO) Elmas SARI (EMO)

BİLİMSEL DEĞERLENDİRME KURULU

Cevdet ACAR (İTU)
İnci AKKAYA (İTU)
A.Sefa AKPINAR (KTU)
Ayhan ALTINTAS (Bi I .U)
Fuat ANDAY (I TU)
Fahrettin ARSLAN (IU)
Murat ASKAR (ODTÜ)
AbduI Iah ATALAR {Bi I .U)
SeI im AY (YTU)
Ümit AYGÖLU (İTU)
Atalay BARKANA (Anadolu U)
Mehmet BAYRAK (Selçuk U)
Atilla BİR (İTU)
Gal ip CANSEVER (YTU)
Kenan DANIŞMAN (Erciyes U)
Ahmet DERVİSOĞLU (İTU)
Hasan D İNÇER (KTU)
M.Sezai DİNCER (Gazi U)
Günsel DURUSOY (İTU)
Nadia ERDOĞAN (I TU)
Aydan ERKMEN (OÜTU)
İsmet ERKMEN (ODTÜ)
H.Bülent ERTAN (ODTÜ)
Selçuk GEÇİM (Hacettepe U)
Cem GÖKNAR (İTU)
Remzi GULGUN (YTU)
Filiz GUNES (YTU)
İrfan GÜNEY (Marmara U)
Fikret GÜRGEN (Boğaziçi U)
Fuat GURLEYEN (İTU)
Cemi I GURUNLU (KTU)
Nurdan GUZELBEYOGLU (İTU)
Emre HARMANCI (İTU)
Al tuğ İFTAR (Anadolu U)
Kemal İNAN (ODTÜ)
Asım KASAPÖĞLU (YTU)
Adnan KAYPMAS (İTU)
Ahmet H. KAYRAN (İTU)
Mehmet KESİM (Anadolu U)
Erol KOCAOGLAN (ODTÜ)
Muhammet KÖKSAL (İnönü U)
Hayrettin KÖYMEN (Bil. U)
Hakan KUNTMAN (MU)
Tamer KUTMAN (I TU)
Duran LEBLEBİCİ (İTU)
Kevork MARDİKİYAN (I TU)
A.Faik MERGEN (I TU)
Avni MORGUL (Boğaziçi U)
Güven ÖNBİLCİN (KTU)
BüI ent ÖRENCİK (İTU)
BüI ent ÖZGUC (Bi I .U)
A.BÜI ent ÖZGÜLER (Bi I .U)
Yı Imaz ÖZKAN (I TU)
Muzaffer ÖZKAYA (I TU)
Kemal ÖZMEHMET (DEU)
Osman PALAMUTCUOGLU (İTU)
Erdal PANAYIRCI (İTU)
HaI it PASTACI (YTU)
Ahmet RUMELİ (ODTÜ)
Bülent SANKUR (Boğaziçi U)
M.Kemal SARIOGLU (I I"U)
Müzeyyen SAR I TAS (Gazi U)
A.Hamit SERBEST (ÇU)
Osman SEVAİOGLU (ODTÜ)
A.Oğuz SOYSAL (IU)
Taner SENGÖR (YTU)
Emin TACER (İTU)
Nesrin TARKAN (İTU)
Mehmet TOLUN (ODTÜ)
Osman TONYALI (KTU)
Ersin TULUNAY (ODTÜ)
Nejat TUNCAI (İTU)
At ı f URAL (Kocaeli U)
Alper URAZ (Hacettepe U)
Gökhan UZGÖREN (IU)
Yi I d ı r im UCTUG (ODTÜ)
Asaf VAROL (Fırat U)
Sıddık B. YARMAN (IU)
Mümtaz YILMAZ (KTU)
Melek YÜCEL (ODTÜ)
Nusret YUKSELER (İTU)
Selma YÜNCÜ (Gazi U)

Doğrusal Olmayan Bazı Sistemler için Yeni Bir Gözetleyici Tasarım Metodu

Ata. Sevin¹, Kemal Leblebicioğlu²,

¹ Gazi Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü 06570, Ankara

² Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara

ÖZET

Doğrusal olmayan sistemler için çeşitli gözetleyici tasarım yöntemleri önerilmişse de bunların ya performansı yeterli olmamakta ya da gerçek sistemlerde uygulamaya imkan vermemektedirler ([1]).

Bu çalışmada belli bir doğrusal olmayan sistemler sınıfı için geçerli bir gözetleyici tasarım yöntemi önerilmektedir. Gözetleyici yapı itibarıyla, bir kesikli zaman sistemi olup küçük örnekleme zamanlarında da çalışabilmektedir. Bu yöntemde hata dinamiği matrisinin bütün elemanlarını fazla bir hesaplama yükü olmadan tesbit etmek mümkündür. Yöntem bir indüksiyon makinası modeli üzerinde denenmiş ve bazı sonuçlar alınmıştır.

1. Giriş

Bu çalışmada yeni bir gözetleyici kavonik yapısı ve bu yapıdaki sistemler için bir gözetleyici tasarım tekniği sunulmaktadır. Çalışmaya temel olarak alınan sistem aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= A(t,u,y)x + b(t,u,y) \\ T(t_0) &= r_0 \\ y(t) &= C(t,u,y)x + d(t,u,y) \end{aligned} \right\} \dots (1) \quad r_0 \text{ vektörü}$$

Burada $x \in \mathbb{R}^n$ ve $y \in \mathbb{R}^m$, $m < n$
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

olarak alındığında A, b, C, d matris ve vektörlerini boyutları uygun bir şekilde bulunabilir. Böyle bir sistem gösterimi seçilmesindeki temel amaç bu sistemin yeterince genel oluşu ve elektrik makinelerindeki bazı sistemlere benzemesidir.

(1) sisteminin çözümü aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$x(t) = G(t,u,y)x_0 + \int_{t_0}^t h(f,u,y)J < \dots > \cdot \cdot \cdot (2)$$

Sistemin çıktısı olan $y(t)J < \dots >$ için bilindiğine göre (2) > karşı gelen tam kesikli zaman sistemi ise

$$\left. \begin{aligned} -V_{k+1} &= G_{k+1}X_k + h_{k+1}x_0 = x(t_0) \\ y_k &= C_k x_k + d_k \end{aligned} \right\} (3)$$

şeklindedir ($X_k = x(t_k) \cdot i_{ik} - \dots (H^1) >$)

$$\begin{aligned} V^* &= y^f(k).G_k = G(l_k, u_k, y_k), C_{Hk} = \\ C(t_k, u_k, y_k), d_k &= d(t_k, u_k, y_k), h_k = \\ h(t_k, u_k, y_k), k &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

2- Gözetleyici Tasarım Yöntemi

Aşağıdaki gibi verilen doğrusal olmayan

$$\dot{x} = f(x, u, y)$$

$$\left. \begin{aligned} i &= f(x, u, y), x(t_0) = r_0 \\ y &= h(x, u, y) \end{aligned} \right\} (4)$$

$$r_0 = [r_0^1, r_0^2, \dots, r_0^m]^T \quad (5)$$

olarak tanımlanır. Daha sonra;

$$0_0 = \frac{\partial}{\partial x} (r_n(t, u, ; t, \dots, < r^{-1}, r)) \quad (G)$$

diye alınırsa a sayısı

$$\text{rank}(Q_a) = n$$

şartını sağlayan en küçük pozitif tamsayı olarak seçilir. Şimdiden sonra. (1) sistemi için böyle bir a pozitif tamsayısının varlığı kabul edilecektir. Önerilen gözetleyin

$$z_{k+1} = M_{k+1} z_{k+1-a} + \sum_{i=0}^{a-1} N_{k+1}^i y_{k-i} + q_{k+1} \quad (7)$$

şeklinde. Burada z_k gözetleyin sistemin $I = t_k$ anındaki durum vektörü ve V^{\wedge} 'de İmla dinamiği matrisidir. M_{k+1} 's ve A_{k+1} matrisleri uygun bir şekilde seçilerek gözetleyici hatası

$$e_k = r_k - x_k \quad (S)$$

olarak tanımlandığında

$$M_{k+1} = M_{k+1} + I^{\wedge} c_{k+1} \quad (J)$$

dinamik denklemi elde edilecektir. Eğer

$$Q_a^0 = \begin{bmatrix} C_{k-a+1} \\ C_{k-a+2} G_{k-a+2} \\ \vdots \\ C_k (\prod_{j=k-a+2}^k G_j) \end{bmatrix}$$

olarak tanımlanırsa ve $nm = n$ ise gereken bağıntı

$$\{N_{k+1}^{a-1} \dots N_{k+1}^0\} = \{(\prod_{j=k-a+2}^{k+1} G_j) - M_{k+1}\} (Q_a^0)^{-1} \quad (10)$$

şeklinde. $nm > n$ olduğunda ise basit bir düzenleme ile (10) bağıntısına benzer bir ifade elde edilebilir. En sonda ise (7), (S), (J)

ve (10) numaralı denklemler kullanılarak y_{k+1} için bir bağıntı kolaylıkla bulunur.

3. Uygulama

2. Bölümde açıklanan gözetleyin tasarımı yöntemi derecesi indirgenmiş bir indüksiyon makina modeli üzerinde denenmiştir. Bu modelde $n = 4$, $m = 2$, $a = 2$ ve durum vektörü x 'u bileşenleri rotor akı bağlantısı ile stator akımının i ve j bileşenleri olarak seçilmiştir. Stator geriliminin $d-q$ bileşenleri $V^* \quad Vq$ sistemin girişleridir. Rotor açısal hızı ω 'nın ölçülebildiği farzedilerek sistemin derecesi bir düşürülmüştür. (1) numaralı sistemdeki A ve B matrisleri motor parametreleri ve ω 'dan oluşan elemanlara sahiptir. Ayrıca

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, d = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

olarak seçilmiştir. Önerilen yöntem daha önceden yapılmış indüksiyon makinası gözetleyicilerine ([2], (33)) göre sistemin derecesini çok düşürmediği ve makina parametrelerinde basitleştirme yapmadığı için belli bir üstünlüğe sahiptir. Daha sonra

$$M_{k+1} = M^{-1} = \text{diag}(e^{ST}, e^{xr}, e^{XT}, e^{yr})$$

$$A = -2, T = Q25sn$$

alınarak makina modeli ve gözetleyiciden oluşan sistemin benzetimi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 1'de gösterilmektedir.

4. Sonuç:

Bu yöntemi yeterince hızlı DSP devreleri kullanarak gerçek zamanda kullanmak mümkündür. Gözetleyicinin çıktısı gerçek sistemden gerekli hesaplamalar için geçer zaman ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

kadar geriden gelmektedir. Ancak denetleyici girişlerinin yeterince yavaş değiştiği durumlarda gözetleyici-temelli-denetleyici olarak kullanıldığında bu gecikme önemli değildir. Halen önerilen yöntemin fiziksel gerçekleştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

5. Kaynaklar

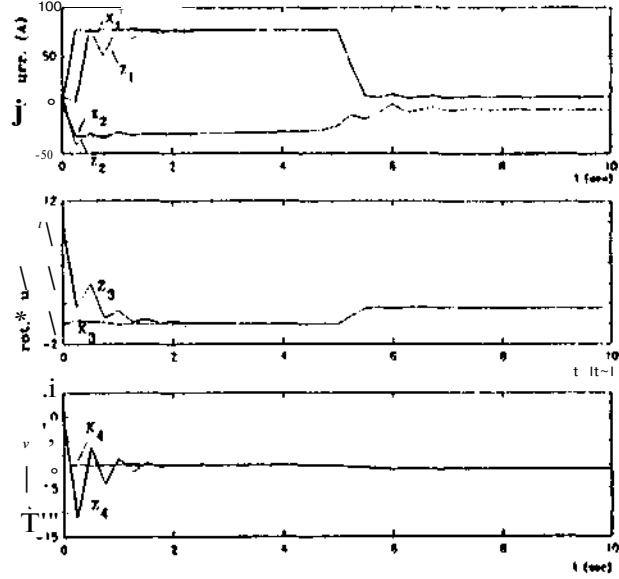
- [1] 13. Volcott, M.J. Corless. S.II. Zak, Comparative Study of Nonlinear State Observation Techniques, Int. J. Control, Cilt 45, No. 6., sayfa 2109-2132, 1987.
- [2] C. Ver^hese ve S.R. Sanders, Observers for flux estimation in induction machines, HEEE Trans. on I.E., cilt 35, No 1., sayfa 85-94, Şubat 1988.
- [3] A.Bellini, G. Figalli ve G.Ulivi, Analysis and design of a microcomputer based observer for an induction machine, Automatica, cilt.24, No. 4, sayfa 549-555, 1988.

6. Yazarlara ait bilgiler

Ata SEVİNÇ: (1968) 1990 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik Bölümünden mezun olmuştur. Halen ODTÜ Elektrik Bölümünde denetim anabilim dalında yüksek lisans çalışması yapmaktadır. Mezun olduğu tarihten itibaren Gazi Üniversitesi Elektrik Bölümünde araştırma görevlisidir. İlgili alanları kontrol teorisi ve elektrik makinalarına uygulamalarıdır.

Kemal LEBLEBİCİOĞLU: (Çorum, 1957) BS, MS, Ph.D. sırası ile ODTÜ Elektrik, Matematik, Matematik, 1979, 1982, 1988. 1990-1988 arasında ODTÜ Matematik Bölümünde araştırma görevlisi, 1988'den **ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ**

itibaren ODTÜ Elektrik Bölümünde Y.Doe. olarak görev yapmaktadır. İlgili alanlar., optimizasyon, optimal kontrol teorisi, sayısal analiz, sinyal işleme, ters problemlerdir.



Şekil 1.

**PJD DKNF.TI.F.ÇI.F.RİN KAPALI DONCİÜ İLF.
OTAMA'TIK 01.AKAK AYARLAMA YÖNTEMİ**

Ayhan ALBOSTAN
Mekt . F.Iekt rotık Müh. 13) .
Mübend isi i k-M imarlık Fakii l t esi
Gazi Üniversitesi, ANKAKA

ÖZETİ

Bu çalışmada geri döngü (PI) denet: leçlerin otomatik olarak ayarlanması için basit bir yöntem önerilmektedir. Sürecin çıkışından denet. leç girişine kadar doğrusal olmayan geri besleme yolu ile oluşan bir döngü üretilir. Salınım frekansı, geri besleme transfer fonksiyonunun kesim frekansının üzerinde ve kritik frekansının altındadır. Salınımın frekansı ve genliği tahmin edilmekte ve böylece denet. leç girişinden sürecin çıkışına kadar oları kapalı devre transfer fonksiyonu salınım frekansında, belli bir genliğe erişecek şekilde kontrol parametreleri iterasyon yöntemi ile ayarlanmaktadır.

SUMMARY

**A METHOD FOR CLOSED LOOP
AUTOMATIC TUNING OF PID
CONTROL SYSTEM**

A simple method for the automatic tuning of PID controllers in closed loop is proposed. A limit cycle is generated through a nonlinear feedback path from the process output to the controller reference signal. The frequency of this oscillation is above the crossover frequency and below the critical frequency of the loop transfer function. The amplitude and frequency of the oscillation are estimated and the control parameters are adjusted iteratively such that the closed loop transfer function

from the control reference to the process output attains a specified amplitude at the desired frequency.

1. GİRİŞ

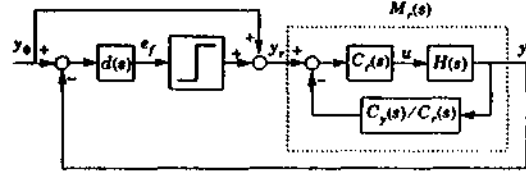
Son yıllarda (PI) denet, leçler üzerinde yapılan çalışmaların bir kısmı bu denet. leçlerin otomatik olarak ayarlanması için basit yöntemler önermişlerdir. Süreçlere gelen girişler daima otomatik olarak üretilir ve PID parametreleri de daha sonra doğrudan süreç cevabından bulunur. Bu yöntem üzerindeki ilk çalışma 1940'lı yılların başında Zeigler-Nichols tarafından yapılmıştır. Denet. leç tasarımında Zeigler-Nichols birim basamak fonksiyonu cevabı temel alınarak, sürecin açık çevrim birim basamak cevabı, iki parametre ile gösterilmiştir. Daha sonra Zeigler-Nichols yönteminin iyileştirilmesi üzerinde Nishikawa tarafından yapılmıştır. Bu yöntemde temel süreç modellerinin parametreleri, ya doğrudan basamak cevabından ya da impuls cevabından bulunmaktadır. Burada modelin parametreleri ilgili cevap eğrisinden hesaplanır ve PID parametreleri de model parametrelerinden bulunur. Geçici cevap yöntemi, gürültülü durumda Zeigler-Nichols'ların birim basamak yöntemine göre daha az hassastır. PID denet. leçin otomatik olarak ayarlanması için Zeigler-Nichols yöntemi sürecin transfer fonksiyonunun Nyquist eğrili üzerindeki tekil noktanın bulunmasını temel görüş olarak

almıştır. Bu nokta, Nyquist eğrisi ile negatif gerçel eksenin kesim noktası olup bu noktaya genellikle kritik nokta denir. Kritik nokta ve kritik kazançtan faydalanarak kontrol parametreleri bulunur. Zeigler-Nichols yönteminde kritik nokta, kapalı çevrimin kararlılık sınırına erişeneeye kadar oransal denetlecin kazancı artırılarak bulunur. Kritik nokta daha sonra kontrol çevriminde üretilen salının genliği ve periyodu ile tanımlanmaktadır. Bu yöntemi otomatik olarak yapmak zordur. Astrom ve Hagglund kritik noktayı bir ayarlayıcıyı sürecin çıkışından sürecin girişine bir geri besleme yaparak bulmaktadırlar [4]. Süreçlerin hemen hemen tamamı sınırlı bir döngü içerisinde salınım yaparlar. Kritik kazanç ve kritik nokta bu salının frekansından ve genliğinden bulunur. Bu ve buna benzer metodlarla geniş bantlı, otomatik olarak ayarlanan gelişmiş denetim elemanları süreç kontrol endüstrisinde kullanılmak üzere uygulamaya sunulmuştur [5]. Bu çalışmada üzerinde durulan yöntem, Astrom-Hagglund'in kapalı çevrim sist. em ler i r; i n geliştirdikleri yöntemin genişletilmiş bir biçimidir. Döngü sayısı, kontrol sisteminin bir frekansdaki salınımları üretilir ve bu kontrol sisteminin kararlılığının ve performansının belirlenmesi için çok önemlidir. Denetleç parametreleri iteratif olarak ayarlanır, yani kapalı çevrim transfer fonksiyonu denetlecin girişinden süreç çıkışına belirlenmiş bir genlikte ve salınım frekansında ulaşır.

2. UYAKTİM YÖNTEMİ

Sistem, bir düzenleyici ve doğrusal bir dinamik elemanın sürecin çıkışından denetlecin girişine gelen, giriş sinyali se-

ki 1(1)'de gösterildiği gibi bir geri besleme ile uyarılmaktadır.



Şekil 1 Süreç çıkışından, denetleç. girişine bir düzenleyici ile geri besleme devresinin blok diyagramını göstermektedir.

Denetleç girişi y_r den süreç çıkışı y kadar olan kısmın kapalı çevrim transfer fonksiyonu $M_r(s)$ ile gösterilmektedir. Genellikle sistemlerde, düzenleyicinin doğrusal olmamasından dolayı bir döngü sınırı belirlenmektedir. Burada $d(s)$ doğrusal bloku salınım döngü sayısının frekansını etkilemek için kullanılmaktadır. Bu giriş sinyali, $y_0 - Ay$ ve $v_0 + Ay$ basamakları arasında değişmektedir ve buradaki Ay , düzenleyici fonksiyonunun genliğinin göstermektedir. Sistemin yaklaşık ω_c frekansı ile salınım yapmaktadır. Denetlecinin yaklaşık karakteristik fonksiyonu

$$1d(j\omega_c) M_r(j\omega_c) = -180^\circ \quad (i)$$

biçimindedir. Bu 180° denetleçlerde türevsel etki genellikle yalnızca sürecin çıkışına uygulanır. Denetlecin girişinden denetlecin çıkışına kadar olan kısmın transfer fonksiyonu,

$$C_r(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right) \quad (2)$$

hiçimi xliçilir. Ölçülen sinyal in denet km-iii çıkışına kadar ulan I transfer fonksiyonu,

$$-C_y(s) = -K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{N_f}} \right) \quad (3)$$

Burada K_p oransal kazancını, T_i ini ctiral zaman sabitini ve T_d (iö türevsel zaman sahilini gös- lernc-kt(-dir. Murada denel lecin türovsol etkisi $[T_d/N_f]$ zaman sa- bi(i ile rililit.re edidiği düşü- nülmişliir. Denet lerin toplam çıkışı,

$$u(s) = C_r(s) y_r(s) - C_y(s) y(s) \quad (4)$$

hiçimi idedir. Kapalı çevrim için hassasiyet,

$$M(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)} \quad , \quad G(s) = H(s) C_y(s) \quad (5)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Bu- rada $G(s)$ çevrimin transfer fonksiyonunu ve $H(s)$ de sürecin transfer fonksiyonunu göster- mektedir. Kontrol girişinden süreç çıkışına kadar olan ka- palı çevrim I transfer fonksiyo- nu,

$$M_r(s) = \frac{y(s)}{y_r(s)} = \frac{H(s) C_r(s)}{1+H(s) C_y(s)} = \frac{C_r}{C_y} \quad (R)$$

Burada, denklem (1) ve denklem (7) denklem (1)'de yer ler-ine konursa,

$$(7) \quad d(s) = \frac{C_y(s)}{s C_r(s)}$$

$$Ld(j\omega_c) M_r(j\omega_c) = / \frac{M(j\omega_c)}{s} = -180^\circ \quad (8)$$

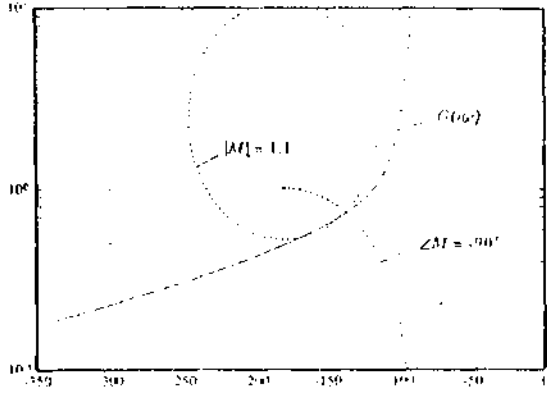
bu radan, döngü sayısının fre- kansı, ω_c We aşağıdaki ifadeden bulumır.

$$LM(j\omega_c) = -90^\circ$$

Bu salınının frekansı, kapalı çevrim transfer fonksiyonu için, kesim frekansının iizerin-dedir (bu durumda kazam.- bire eşittir) ve kritik frekansının altındadır (faz açısı -180° 'dır). Bu durum şekil 2'deki Ni<-lıols abacında görülmektedir. Frekans ara lıgındaki salınım frekansı, kontrol sisteminin geçiçiö7eIIiklerininvekarar- IıIıgıMını beliriennesi için çok önemlidir.

3. VII) I'AKF.MF.THF.I.F.IitNIN BULUNMASI

öneeki bölümde uyar tım yöntemi, kontrol parametrelerinin sabit ve kontrol sisteminde" kararlı bir döngü elde edi İmesi koşulu ile tanımlanmıştır. Salınının frekansını ve genliğini ayarlı- yan bu yöntemde, şekil 1'deki $e_r(t)$ sinyalinin hassasiyeti temel pik ve sıfır kesiminden bulunur. l'ıl) denet Ieç paramet- releri aşağıdaki temel çizeneİs- ten iteratif yöntem ile bulu- nur. $M(j\omega)$ 'nın genliği M_s ola- rakgöst. erilmiştir. $G(j\omega)$ transfer fonksiyonunun genliği g_r , (r>ive(il) denklem1 (M- inden hühmır. I'deki salınım frekan-



Şekil 2 Toplam iletkenliği için fonksiyonunun bulunması için Niebols abası. Burada $|M|=1.1$ VP $\angle M = -90^\circ$ için salınının frekansı ve genliği, $G(j\omega)$ kapalı çevrim transfer fonksiyonu ile $\angle M = -90^\circ$ esrisinin kesişiminden bulunur.

s ve $G(j\omega)$ 'nin genliğinde $\hat{y}_i = |c_{y_i}| (j\omega)^{j_i}$ biçiminde olacaktır. Buradaki h_i 'de salının frekansındaki siircin kazancını göstermektedir. (s) denetlecin t_{i-1} 'den t_i 'ye kadar olan zaman aralığındaki transfer fonksiyonudur, integral zaman sabiti. T_{VP} türevsel zaman sabiti T_d ile orantılı olarak alınmaktadır ve K_p oransal kazanç için $|c_{y_i}| = g_{y_i} C_{y_i} / (3)$ yeni parametrelere denetlecin transfer fonksiyonundan bulunur. Deneyler için parametrelerindeki değişimin belirlenen kesin değerlerle farklılığı bitliği /atnan, ayarlanabilir. Salınım frekansı ω_n ve $|G(j\omega)|$ 'nin belirleniminde kullanılan salınım sayısı n $\langle \rangle$ matematik ayarlayıcının kağıtları ile ayarlama süresi: t_{as}

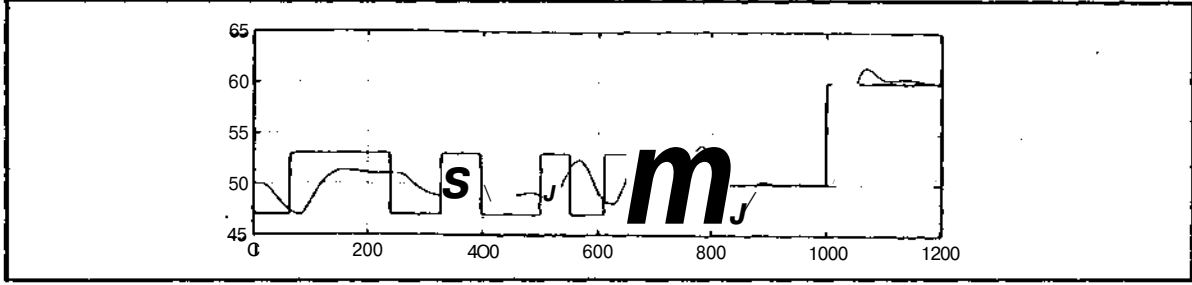
daki bir uyumdur. Simülasyonlar deneyler parametrelerinin her bir salınım periyodu için "eni bir" delerde olduklarını gösterirler. Hata fonksiyonu $e(t)$ 'nin t_{i-1} ve t_i deki iki keşim noktası arası bir salınım periyottur. Ayarlamaların algoritması, deneyler parametrelerinin iteratif olarak değişiminde döngü sayısı değiştirilerek sunu bozuculara karşı daha etkili yapılabilir. Süreç karakteristiklerinin geniş bir aralıkla mümkün olan en iyi ayarlamayı elde etmek için otomatik ayarlayıcıların dört değişik tipi vardır. Ayarlamaların kuralları süreç modellerinin geniş bir değişim aralığıyla detaylı olarak yapılan simülasyon deneyleriyle aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$\begin{aligned}
 \text{Durum I} &: T_i = \frac{3}{\omega_c}, T_d = 0.75, m_s \\
 \text{Durum II} &: T_i = \frac{3}{\omega_c}, T_d = 0, m_s \\
 \text{Durum III} &: T_i = \frac{1}{\omega_c}, T_d = 0, m_s \\
 \text{Durum IV} &: T_i = \frac{6}{\omega_c}, T_d = 0, m_s
 \end{aligned} \tag{10}$$

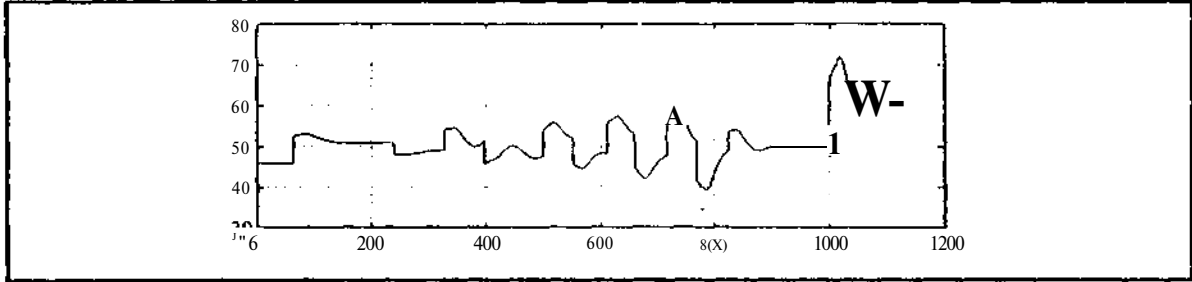
Durum 1 ve 2, bir orta değerdeki integral /aman sabiti (ilan II ve PII) denetleçler için'dir. Süreçlerin pek çoğunda bu iki durum ile iyi netice alınmaktadır. Durum 3, fa, davranışı etkin olan süreçler içindir. Bu süreçler için integral zaman sabiti kısa seçilmelidir. Durum 1 ise tümleyici süreçler içindir, örnek olarak seviye kontrolü için uygundur. Bu süreçler kapalı çevrimde yeterli faz marjını elde etmek için uzun Miler satit. denetleçlerle kılınmalıdır.

1. SİMULASYON OLİNEER SİSTEMLERİN İÇİN

Giriş ve çıkış sinyalleri



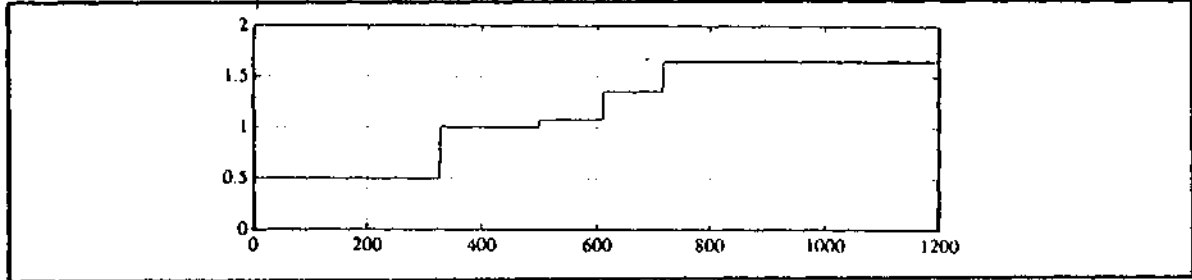
Kontrol Değişkeni



saniye

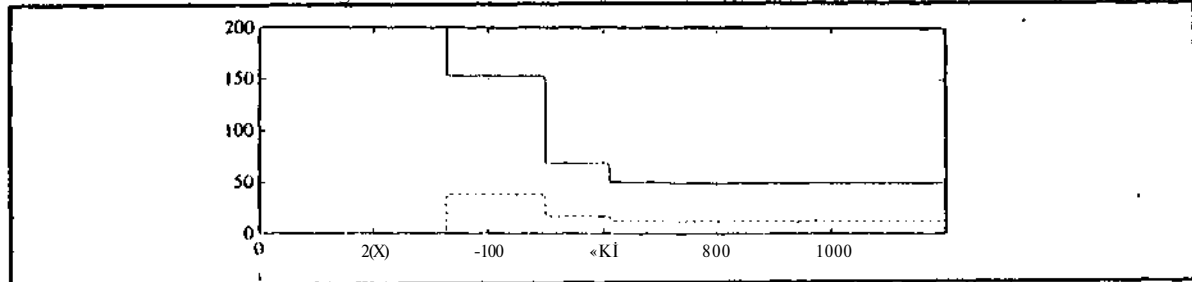
Şekil.3. PID denetlerin otomatik olarak ayarlanması. Ayarlanma 850 saniye sonra görülmekte ve 1000 saniyeden sonra denetlece birim basamak şeklinde bir giriş sinyali vardır.

Oransal kazanç



saniye

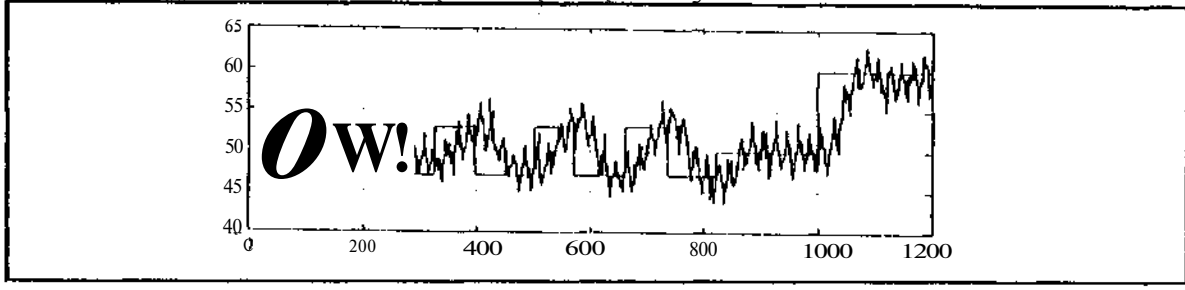
Integral ve Türevsel zaman sabitleri



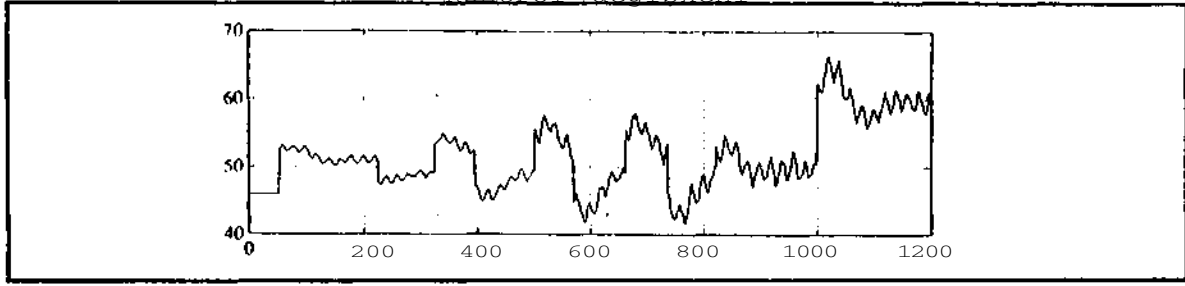
saniye

Şekil 1.4. Şekil 1.3 deki PID denetlecin ayarlanması sırasındaki Oransal kazanç, integral ve Türevsel zaman sabitleri. Başlangıçta denetlecin yalnızca oransal davranışı vardır ($T_I \rightarrow \infty$ ve $T_D = 0$).

Gir iş ve çıkış sinyalleri



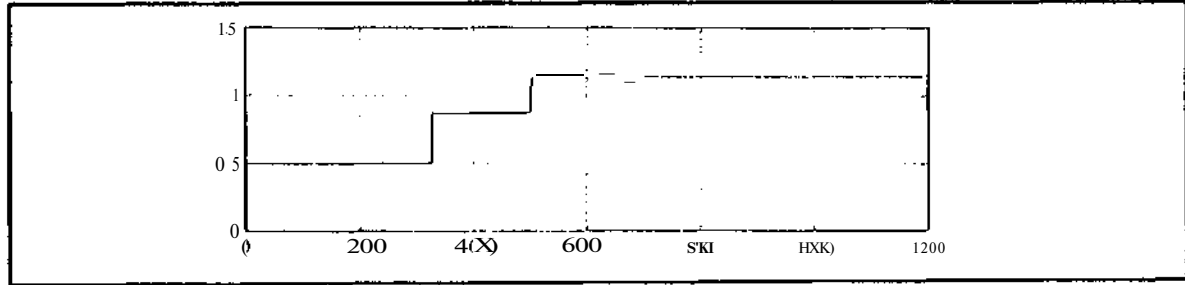
saniye
Kontrol değişkeni



saniye

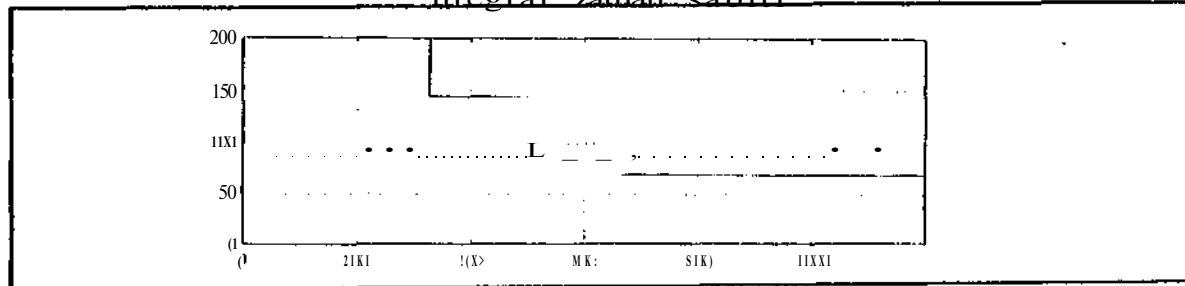
Şekil.1.5. Bozucu ve gürültü bulunan bir süreç için PI denetlerinin otomatik ayarlanması.

Oransal kazanç



saniye

Integral zaman sabiti



saniye

Şekil.(5. Şekil.5 deki PI denetlinin ayarlanması sırasındaki .Oransal kazanç ve Integral] zaman sabiti.

Aşağıda transfer fonksiyonu verilen süreç- modeli için (1) denetim, denetimin ilkeyarlaması Şekil 3 ve 4'de gösterildiği gibidir,

$$H(s) = \frac{1}{(1+30s)(1+15s)} e^{-15s}$$

bu uygulamalarda gürültü (i) veya huzuretkisi yoktur.

Şekil 3 PID denetlerin otomatik olarak ayarlanması. A-ayarlama H50 saniye sonra görülmektedir ve 1000 saniyeden sonra denetim için birim hasamak etki görülmektedir.

Ayarlama başlangıçta, denetim parametrelerinin klasik olmasından dolayı uzun zaman almaktadır. Ayarlama sonrasında G(jw) açıkdevre fonksiyonu Şekil 2'de Nichols diyagramında gösterilmiştir. Şimdi aynı model simüle edildiğinde sürecin çıkışının beyaz gürültü ile bir periyodik bozucu eklenmektedir.

f). SONUÇ

PID denetlemlerin otomatik olarak ayarlanması için basit bir yöntem önerilmektedir. Bu yöntem esas itibarı ile endüstride karşılaşılan tipik süreç modelleri ile çeşitli tipteki bozucular ve gürültü ölçümlerinden faydalanarak geniş çaplı simülasyonlar yoluyla HOPleniniştir. Bu simülasyonlardan çıkan

sonuç »yarlamasının şekli iyi seçilmiş ise yöntemin çalışması çok iyi olur. Fakat pek çok süreçlerde bile bu yöntem ile PID denetlemleri kullanılarak çok iyi sonuçlar elde edilmektedir. Önerilen yöntem, Astrom-Hagglund'ın açık çevrim otomatik ayarlayıcısı ile karşılaştırıldığında aşağıdaki özelliklere sahip olduğu görülür. Bir kontrol çevrimi için yeterli miktarda kazanç ve faz sınırı elde etmek amacı ile uygun bir salınım frekansı seçilir. Astrom-Hagglund'ın otomatik sisteminde transfer fonksiyonunun faz açısı yaklaşık -180°'tan bir frekansta uyarılmaktadır. Çogu zaman süreç kontrolde, denetlemin türevsel davranışının kullanılması arzu edilmez. Bir- Fî denetletinde transfer fonksiyonunun o andaki gecikme fazı -180°'den daha negatif olması gerekir. Bundan dolayı toplam kontrol çevrimine gövve salımının frekansı kritik frekansın üzerindedir. Bu durumda, Astrom-Hagglund'ın otomatik yöntemi, kontrol çevrimi için yeterli faz sınırını garanti etme yönünden bizim önerdiğimiz metoda göre çok daha klasik olduğu düşünülmektedir, önerilen yöntemin Astrom-Hagglund'ın yöntemi ile karşılaştırıldığında salınım frekansında her iki bozucunun çok aşağıda ve çok yukarıda olma durumunda daha az hassas oldukları kabul edilmektedir. Birincisi d(s) filtresinin alçak geçiren olma özelliğine bağlıdır. İkincisi ise kapalı çevrim yaklaşımlarından kaynaklanır. Astrom-Hagglund yöntemindeki otomatik ayarlayıcısında süreç girişi iki sabit değer arasında basamaklar halinde değişirler. Bu esnada basamağın boyunun ayarlama sırasında kaymayıda dikkate alacak şekilde yeteri genişlik ile seçilmesi gerekir.

Önerilen yöntemin başlıca dezavantajı, ayarlamının uygulama süresinin çok uzun zaman almasıdır, önerilen (M) yöntemin Astrom-Ilagglund yönteminininden iki nedenden dolayı ayarlamının daha uzun zaman aldığı tahmin edilmektedir. Birincisi denetlecin başlangıç ayarlanması çok klasik ise, uyarım frekansı düşüktür, ikincisi salınım periyot sayısı, kontrol parametrelerinin iteratif olarak ayarlanmasına bağlı olarak muhtemelen yüksöktür.

KAYNAKLAR

(1) Zeigler, J.G. and N.B. Nichols, Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME, Vol. G4, 759-768, 1942.

(2) Zeigler, J.G. and N.B. Nichols, Process lags in automatic control circuits. Trans. ASME, Vol. G5, 433-444, 1943.

(3) Kishikawa, Y., N. Sannomiya, T. Ohta and H. Tanaka, A method for auto-tuning of PID control parameters. Automatica, Vol. 20, 321-332, 1984.

(4) Astrom, K. J. and T. Hagglund., Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins. Automatica, Vol. 20, 645-651, 1984.

(5) Morris, H.M., How adaptive processes control? Contr. Eng., March, 96-100, 1987.

(6) Astrom, K. J. and T. Hagglund., Automatic tuning of simple regulators. Proc. I'AC 9th World Congress, Budapest, 1984.

(7) Sarıoğlu, K. Otomatik Kontrol, TÜBİTAK, 1988, İstanbul.

(8) Yüksel, İ. Otomatik Kontrol, Uludağ Univ., 1991.



1054 Yozgat doğumlu Ayhan Albostan 1978'de Fırat Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinden mezun oldu. 1979'da Gazi Üniversitesinin asistanı olarak başlayan Ayhan Albostan 1981'de Fırat Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 1988'de Gazi Üniversitesi'nde Doktora'sını tamamladı, 1990'da Yardımcı Doçent olarak aynı üniversitede öğretim üeliğine atandı. 1990'da Tübitak bursu ile İngiltere Cambridge Üniversitesinde "Singular Perturbation" konusu üzerinde çalışmalar yapan Ayhan Albostan 1991 yılında Dünya Bankası bursu ile Virginia State and Technie Üniversitesinde "Adaptive Control" üzerine çalışmalar yaptı. Şu anda Erciyes Üniversitesinde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır.

ÖZET

Bu bildiride, ATM (Eşzamansız Aktarım Kipi) bağlayıcılarının başarım değerlendirmesi için tasarlanıp gerçekleştirilen bir benzetim paketi anlatılmaktadır. Bağlayıcıların giriş ve çıkış kuyruklarının bulunup bulunmayacağı ve hızlandırma çarpanları kullanıcı tarafından belirlenmekte, bakışımı ya da bakışimsız bağlayıcılar ele alınabilmektedir. Bağlayıcıya gelen trafik akışının düzgün geometrik taşımı olduğu varsayılmaktadır. Benzetim paketi, iş çıkarma, gecikme ve kuyruk uzunluğu gibi başarım öğelerini saptayabilmektedir. Bildiride benzetim örnekleri ve sonuçları sunulmaktadır.

Anahtar sözcükleri ATM bağlaşımı, başarım değerlendirmesi, benzetim.

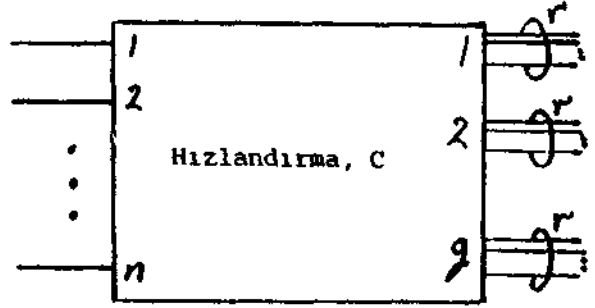
1. GİRİŞ

Geniş bantlı ISDN (Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi) sistemlerinin büyük ölçüde ATM (Eşzamansız Aktarım Kipi) bağlayıcılarından yararlanacağı beklenmektedir. ATM bağlayıcı yapıları 1980'li yıllardan başlayarak geliştirilmiş ve günümüzde yaygın olarak çözümlenmiş bulunmaktadır. (ör. [1], [2]).

ATM başlığı altında toplanabilecek birçok bağlayıcı yapısı bulunmaktadır. Bunların en belirgin ortak özellikleri yüksek oranda paralel işlem ve bağlayıcı donanımı tarafından gerçekleştirilen hızlı yönlendirmedir. Şekil 1'de en genel öğeleriyle bir ATM bağlayıcısı gösterilmiştir.

Burada bağlayıcının n adet giriş kapısı ve her birinde r adet çıkış hattı bulunan g adet çıkış kapısı vardır. Giriş kapılarından herhangi birine gelen her bir paket, çıkış kapılarından herhangi birini adresleyebilir. Bağlayıcının belli başlı başarım öğelerinden biri olan hızlandırma katsayısı, C, her bir bağlaşım

200



giriş kapıları

çıkış kapıları

Şekil 1. ATM bağlayıcısı genel yapısı

döneminde bir tek çıkış kapısına en fazla kaç giriş kapısından paket aktarılabilceğini belirlemektedir. Paketler değişmez boyda olup düzenli zaman aralıklarıyla bağlayıcıya ulaşmaktadırlar. Zaman birimi paket süresidir. Başka bir deyişle, hızlandırma katsayısı, C, bir paket süresinde, aynı çıkışı hedefleyen kaç paketin farklı giriş kapılarından hedefledikleri çıkışa aktarılabilceğini gösterir.

Kullanımda bağlayıcıların paket depolama sığıları kısıtlı ise de çözümlenme ve benzetim çalışmalarında çoğu zaman sonsuz bellek sığıası varsayılmaktadır [3,4]. Bu çalışmada da giriş ve çıkış kapılarında bekleyebilecek paket sayıları üzerine bir kısıt konulmamakta, bu nedenle paket yitimi söz konusu olmamaktadır.

Aşağıda, benzetim paketi kısaca anlatılmakta ve daha sonra elde edilen değerlendirmelerden örnekler sunulmaktadır.

2. BENZETİM PAKETİ

2.1. Değişkenler

ATM bağlayıcıları için en önemli başarım ölçütleri paket gecikmesi ve iş çıkarma sığıasıdır. Bağlayıcı içinde bekleyebilen paket sayısı üzerinde

kısıtlama varsa ayrıca paket yitimi de önemli bir ölçüt olacaktır. Bu çalışmada giriş ve çıkış kapılarında sonsuz kuyruk sırası varsayılmış olduğundan paket yitimi ele alınmamaktadır.

Başarım ölçütleri şöyle tanımlanmaktadır.

Paket gecikmesi Bir giriş kapısına gelerek kuyruğa giren bir paketin hedeflediği kapıdan çıkış hattına ulaşmasına dek geçen paket süresi cinsinden zaman.

İs çıkarma Bir paket süresinde bağlayıcının tüm çıkış hatlarından çıkan paket sayısının toplam çıkış hattı sayısına oranı.

Bu ölçütlerin anlık ve doruk değerleri ölçülebileceği gibi zaman içindeki ortalama değerleri de elde edilebilir.

Ayrıca giriş ve çıkış kapılarındaki kuyruk boyları da bağlayıcı başarımını belirlemekte ve kısıtsız bekleme sırası varsayımının ne ölçüde gerçekçi olduğunun irdelenmesine yardımcı olmaktadır.

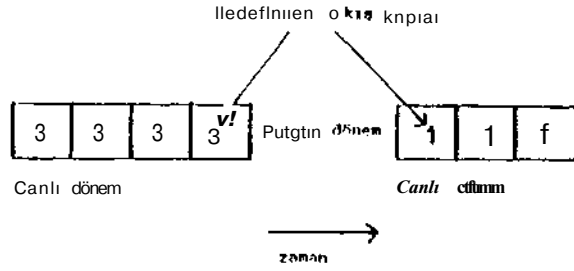
Benzetimde kullanıcı tarafından belirlenen bağımsız değişkenler ise giriş ve çıkış kapı sayıları, çıkış kapılarının her birine bağlı hat sayısı, giriş trafik yükü, hızlandırma katsayısı ve benzetim süresidir. Bunların işlemsel tanımları ise şöyledir

Giriş ve çıkış kapı sayıları Herhangi bir kavramsal kısıt olmadan, eldeki bilgisayarın bellek kısıtları içinde belirlenmektedir.

Çıkış kapılarındaki hat sayısı Her birinin bir paket süresinde bir paket taşıyabildiği varsayılan çıkış hatlarından kaçar tanesinin her bir çıkış kapısına bağlı olduğu. Bu değişken, giriş ve çıkış kanal sıgalarının farklı olduğu sistemleri modellemede birden farklı bir değer alacaktır.

Giriş trafik yükü Bu çalışmada paket trafiğinin düzgün geometrik taşım [5] olduğu varsayılmıştır. Buna göre paket akışında canlı ve durgun dönemler görülür. Bu dönemlerin süreleri aometrik dağılımlıdır. (Şekil 2).

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ



Şekil 2. Paket akışı

Canlı dönemde, aynı çıkış kapısını hedefleyen bir dizi paket ardarda zaman aralıklarında, her aralıkta bir paket olmak üzere girişe ulaşırlar. Bir canlı dönemin (taşıma) i zaman aralığı boyunca sürme olasılığı

$$P(i) = p(1-p)^{i-1}, i \geq 1$$

olarak belirlenir. Burada p, herhangi bir paketin bir dizinin son paketi olma olasılığıdır. Buna göre ortalama dizi uzunluğu

$$C = \sum_{i=1}^{\infty} iP(i) = \frac{1}{p}$$

olur.

Durgun dönemler de geometrik dağılıma uymaktadır. Belli bir q parametresi için durgun dönemin j zaman aralığı boyunca sürme olasılığı

$$Q(j) = q(1-q)^j, j \geq 0$$

olur. Ortalama durgun süre de

$$D = \sum_{j=0}^{\infty} jQ(j) = \frac{1}{1-q}$$

olarak bulunur.

Seçilen p ve q parametreleri için trafik yükü

$$\rho = \frac{D}{D+C}$$

olarak tanımlanır.

Benzetim paketinde giriş trafik yükü, toplam giriş kapasitesinin bir oranı, /, ve paket dizilerinin ortalama uzunlukları, C, olarak belirlenmekte, bu değişkenlere bağlı p ve q değerleri ise

$$p = \frac{1}{C}$$

$$q = \frac{\rho}{\rho(1+C)+C}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Girişe ulaşan herhangi bir paket dizisinin hangi çıkış kapısını hedefleyeceği, düzenli dağılıma uygun olarak belirlenmektedir.

Benzetim süresi Benzetimin toplam kaç paket işlenene dek sürdürüleceği. Ortalama değerlerin kaydedilmesi, sistemin kararlı duruma ulaşmasından sonra başlamakta, yeni paket gelmesi bitene dek sürmektedir. Sistemin kararlı duruma geldiği ise bağımlı değişkenlerde değişinti (variance) değerlerinin % 5'in altına düşmesiyle saptanmaktadır.

2.2. Yöntem

Olay izleyen benzetim yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, başlangıçta sistemin boş olduğu varsayılmakta, daha sonra, belirtilen giriş trafiğine uygun olarak paketler gelmektedir. İzlenen olayları (1) yeni paket gelmesi, (2) paketin geldiği giriş kapısındaki kuyrukta önündeki paketlerin işi bitince sıra başı konumuna ulaşması ve (3) çıkış sırasında bekleyen bir paketin önündekilerin işi bitince çıkış hattından bağlayıcıyı terketmesidir.

Yeni paket gelmesinde bir sonraki paket geliş zamanı kararlaştırılmakta ve gelen paket giriş kuyruğuna girmekte, o andaki kuyruk uzunluğuna ve öndeki her bir paketin bekleme süresine göre sıra başı konumuna ulaşacağı zaman saptanmaktadır.

Bir paketin sıra başı konumuna ulaşmasında ise diğer sıraların başla-

rında bekleyen paketlerle birlikte çıkış kuyruğuna aktarılacak paketler seçilmekte ve aktarımların çıkış hattından çıkacakları zamanlar belirlenmektedir.

Bir paketin bağlayıcıyı terketmesinde çıkış hattı ya boş kalmakta, ya da kuyrukta bir sonraki paketin kullanıma girmektedir.

Her bir olayın işlenmesinde, başarımlı ölçütlerini belirleyecek veriler kaydedilmekte, benzetim sonunda da bunların ortalama, en düşük ve en yüksek değerleri kullanıcıya bildirilmektedir.

Yazılım Turbo Pascal V.6.0. diliyle nesne yönelimli ve olay izleyen programlama yöntemiyle kullanım kolaylığı gözetilerek hazırlanmış olup yaklaşık 1200 satır uzunluğundadır.

3. SONUÇLAR

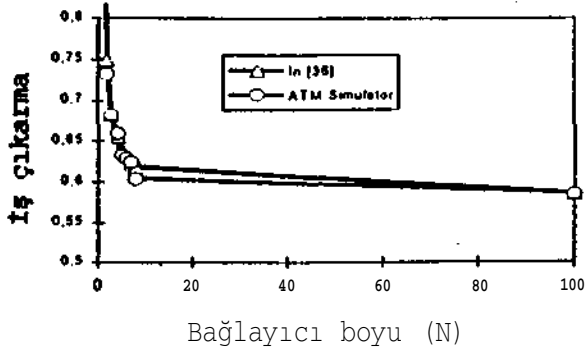
Bu bölümde benzetim paketinin çalışmasından örnekler sunulacak ve sonuçlar çözümsel olarak bulunup yayınlanmış olanlarla karşılaştırılacaktır. Sonuçların çok daha ayrıntılı bir irdelemesi de yapılmış bulunmaktadır. [8]

3.1. Kapı sayısına göre iş çıkarma

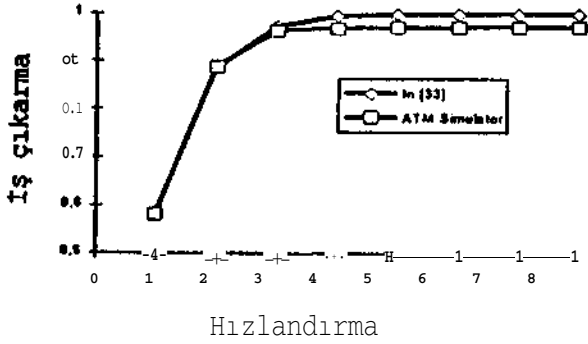
Hızlandırma katsayısı O_1 olan bakışlımlı (giriş ve çıkış kapı sayısı aynı) bir bağlayıcıda kapı sayısı sonsuza doğru artarken, iş çıkarma oranının 0.5858 e ulaşacağı çözümsel olarak gösterilmiştir. [7] Benzetim paketiyle de 0-100 arasında artan kapı sayısı için aynı sonuç elde edilmiştir. (Şekil 3)

3.2. Hızlandırma katsayısına göre iş çıkarma

Hızlandırma katsayısının 0-8 arasında değişimine göre iş çıkarmanın artışı, 30 giriş ve çıkış kapısı bulunan bakışlımlı bir bağlayıcı için benzetimle bulunmuş ve sonsuz giriş/çıkış kapısı için çözümsel olarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. [6] (Şekil 4)



Şekil 3. Kapı sayısına göre iş çıkarma



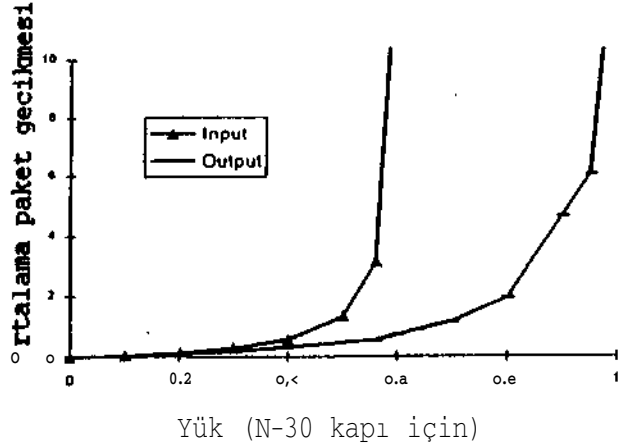
Şekil 4. Hızlandırma katsayısına göre iş çıkarma

3.3. Trafik yüküne göre ortalama paket gecikmesi

Ortalama paket gecikmesinin girişte ve/ya da çıkışta kuyruk bulunan çeşitli boylarda bağlayıcılarda trafik yüküne bağlı olarak değişimi de Şekil 5 te sunulmaktadır.

Burada hızlandırma katsayısı, yalnız girişte kuyruk oluşturan bağlayıcılar için 01, yalnız çıkışta ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

kuyruk oluşturulan içinse çıkış kapısı sayısına eşit alınmıştır. Bu değişimler de çözümsel ve benzetimsel olarak başkaları tarafından elde edilmiş sonuçlarla [5,6,7] uyum göstermektedir.



Şekil 5. Trafik yüküne göre paket gecikmesi

3.4. Diğer Sonuçlar

Burada özetlenenlerin dışında bakışlımı yada bakışsız bağlayıcıların çeşitli hızlandırma katsayılarına, yüklere ve girifte ya da çıkışta kuyruk bulunuşuna göre elde edilen ortalama kuyruk uzunluğu, en yüksek iş çıkarma oranları, ya da çıkış hat sığalarına göre başarımlar değerlendirme gibi çeşitli sonuçlar da elde edilmiş ve doğrulanmış bulunmaktadır.

4. SONUÇ

Geliştirilen benzetim paketinin herhangi bir ATM bağlayıcısının başarımlar düzeyinin öngörülmesi için yararlı bir araç olduğu görülmektedir. Paketin, kısıtlı kuyruk sığasının, dolayısıyla bilgi yitiminin de incelenebileceği biçimde geliştirilmesi olanaklıdır. Bu da, özellikle yüksek sığılı iletişim ağlarında kullanılacak ATM bağlayıcılarının modellenmesi ve değerlendirilmesi için önemli yararlar sağlayacaktır.

- [1] Ahmadi, H., Denzel, W.E., "A survey of modern high performance switching techniques", IEEE J[^] Select. Areas. Commun. 717, 1091-1103, Eylül 1989.
- [2] Santamaria, M.L., Puigjaner, R., "Analysis of grade of service in an ATM switch", ISLIS VI, 515-523, 1991.
- [3] Ilyas, M., Mouftah, H.T., "Performance evaluation of computer Communications networks", IEEE Commun. Mag. 2314, 18-29, Nisan 1985.
- [4] Bolotin, V.A., Kappel, J.G., Kuehn, P.J., "Teletraffic analysis of ATM systems", IEEE JI. Select. Areas. Commun. 913, 281-283, Nisan 1991.
- [5] Liew, S.C. Lu, K.W., " Comparison of buffering strategies for asymmetric packet switch raodules", IEEE J[^] Select. Areas. Commun. 913, 428-438, Nisan 1991.
- [6] Chen, J.S.C., Stern, E., "Throughput analysis of optimal buffer allocation, and traffic imbalance study of a generic nonblocking packet switch" IEEE i. Select. Areas. Commun. 913, 439-449, Nisan 1991.
- [7] Karol, M.J., Hluchjy, M.G., Morgan, S.P., "Input versus output queueing on a space division packet switch", TRRR Trans. Comm., Com-35112, 1347-1356, Aralık 1987.
- [8] Başlar, B., "A simulation package for ATM switch performance evaluation", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Aralık 1992.

1973 ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü mezunudur. 1976 da ABD'de Rennsselaer Polytechnic Institute'dan bilgisayar bilimi dalında yüksek lisans, 1982 de Kanada'da Manitoba üniversitesinden elektrik mühendisliği doktorasını aldı.

1973-74 yıllarında Arçelik A.Ş.'de sistem çözümleyici olarak, 1976-84 arasında ODTÜ İşletmecilik bölümünde öğretim görevlisi olarak çalıştı. 1984'ten bu yana ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü üyesidir. Bilgisayar ağları, yazılım mühendisliği ve bilgisayarda müzik çözümlene gibi konularla ilgilenmektedir.

Biröl Başlar

1990 ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü mezunudur. 1992 yılında aynı bölümden yüksek lisans almıştır. 1990-93 arasında aynı bölümde uzman olarak görev yapmıştır. Halen Havelsan A.Ş.'de çalışmaktadır.

BİR PARALEL PROLOG HATA BULUCUSU

Ahmet Mişasoğlu

Işık Aybay

Türkiye İş Bankası A.ř.

O.D.T.Ü. Elektrik ve Elektronik

Bilgi İşlem Müdürlüğü

Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu çalışmada WINDOWS ortamında çalışan bir Paralel Prolog Hata Bulucu geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen yazılımın benzer çalışmalardan farklı yönleri, yazılım mühendisliği alanındaki son gelişmelerden yararlanmış olması ve kişisel bilgisayarlarda bir standart olma yolundaki çeşitli arabirimleri kullanıcıya sunmasıdır.

Uzman sistemlerin gerçekleştirilmesi ve mantık programlamasında bilgi gösterimi alanında yapılan çalışmalar yeterince yaygınlaşmamıştır. Bu alanda basit bir gramer sunan Prolog dili popüler bir yüksek seviyeli dil olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Prolog kullanılarak gerçekleştirilen bir uygulama; gerçekler, kurallar ve bir çıkarım yazılımından oluşur. Basit tanımına ve kolay kullanımına karşın Prolog ile geliştirilen uygulamalarda dikkat edilmesi gereken özel konular ve zorluklar vardır. Bunlardan bazıları; program akışının kaynak programın görsel incelenmesi ile yeterince

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

anlaşılamaması, kural ve gerçeklerin en iyi şekilde sıralanıp sıralanmadığının belirlenmesindeki güçlük, değişkenlerin eşlendirilmesi esnasında karşılaşılabilecek olası sonsuz döngüler, ve gereksiz veya çelişkili kuralların yaratacağı sorunlar olarak sayılabilir.

Özellikle paralel işleme uygulamalarında, programın çalışma süresini kısaltabilmek ve uzman bilgisi gerektiren kodlamalardan kaçınabilmek için Paralel Prolog çalıştırma modelleri gündeme gelmiştir. Bu modeller kendi amaçları doğrultusunda katkılar sağlamakla birlikte; uygulama geliştirilmesi, hataların bulunması ve özellikle kullanılan paralel modelin verimliliğinin gözlenebilmesi için daha kapsamlı arabirimler gerektirmektedirler.

Kabaca program akışının gözlenmesine yönelik bilgiler sunan arabirimler olarak adlandırılacak hata bulucular, günümüzde yaygın olarak kullanılan ticari paketlerin ayrılmaz birer parçasıdır. Fakat ticari Prolog yazılımlarının hemen hemen hiçbiri, günümüz yazılım ve

donanım teknolojisinden yeterince yararlanan hata bulucular içermemektedirler. En yaygın kullanılan paketler, değişken değerlerinin izlenmesi ve program akışının belli noktalarda durdurulması şeklinde sayılabilecek ve genellikle kaynak programın içine yerleştirilen özel kontrol sözcükleri getiren kolaylıklar sunmaktadırlar.

Yukarıda belirtildiği gibi, gerek genel bir eksiklik, gerekse Prolog diline özgü zorluklar, bu alanda daha geniş olanaklar sunan hata bulucuları önemli kılmaktadır.

Bu yazının konusu olan çalışma BAR AY ve AYBAY (1) tarafından geliştirilmiş 'Bir Veya-Paralel ve Kısıtlı Ve-Paralel Geri İzlemesiz Prolog Çalıştırma Modeli' esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Bir Prolog programı paralel çalışma açısından incelendiğinde, iki değişik paralellik göze çarpmaktadır, Bunlardan birincisi, kural başı aynı önermeyi içeren kural veya gerçeklerin paralel çalıştırılması (VEYA-Paralelliği), ikincisi ise bir kural gövdesinde yer alan alt hedeflerin paralel olarak eşlendirilmesi olarak (VE-Paralelliği) sayılabilir. Bu model bir ağaç yapısı içerisinde bütün çözümleri arayan kısıtlı bir VE-Paralelliği algoritması içermektedir, Çözümün arandığı ağaç yapısı içerisinde üç değişik tipte düğüm yer almaktadır. Bunlar; sorgulamanın başlatıldığı ve çözümlerin toplandığı başlangıç düğümü, Veya-Paralelliği

seçeneğini değerlendiren VEYA-Düğümüleri, ve VE-Paralelliği seçeneğini değerlendiren VE-Düğümüleridir. Herhangi bit çözüm ağacı içerisinde sadece bir başlangıç düğümü vardır. Başlangıç düğümü altında ise sorgulamayı içeren VEYA-Düğümü yer alır. VEYA-Düğümülerinin çocukları VE-Düğümüleri, VE-Düğümülerinin çocukları ise VEYA-Düğümüleri olabilir. Bu yapının programın çalışması esnasındaki bir görüntüsüne Aktif Süreç Ağacı adı verilir. (Şekil-1) Başarılı eşlendirmelerin sonuçları, yaratılan düğümlere aktarılan sorgulamalar ve çalışmasına gerek kalmayan düğümlerin bundan haberdar edilmesi gibi işlemler özel mesajlarla gerçekleştirilir. Bu çalışmadaki yorumlayıcı kısıtlı bir Edinburgh Prolog gramerini desteklemektedir. Kaynak programın sözdizim açısından doğruluğunun incelenmesi, olası sonsuz döngülerin yakalanması ve hazır fonksiyonlar şeklinde bileşenleri bulunmamaktadır.

Yorumlayıcı ve hata bulucu WINDOWS altında nesneye yönelik programlama olanakları ve WINDOWS nesne kütüphaneleri sunan bir Pascal (2) paketi ile gerçekleştirilmiştir. Hata bulucu kısım Çoklu Doküman Arabirimi olarak adlandırılan ana ve alt diyalog pencerelerinin sunulduğu ve grafik gösterimlere olanak tanıyan yapıdadır. Bu arabirim, kaynak programın gözlenmesi ve değiştirilmesi, Aktif Süreç Ağacının gösterimi, herhangi bir düğüm hakkında detaylı bilgiler elde edilmesi

ve programın adımlar halinde çalıştırılması şeklinde olanaklar tanımaktadır.

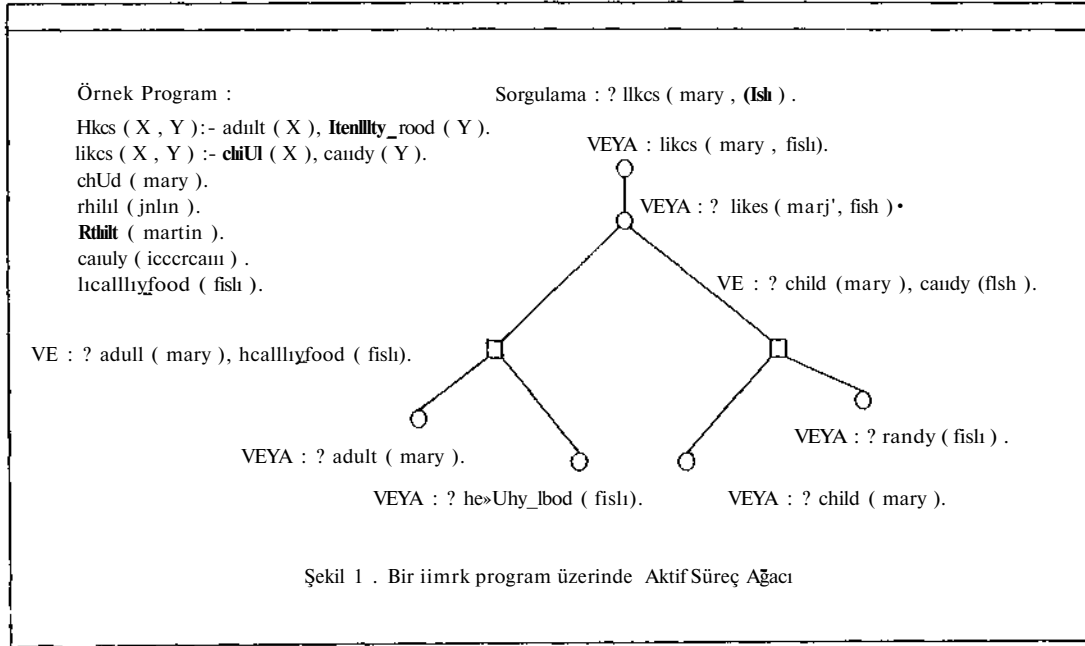
Bu konuda literatüre geçmiş benzer çalışmalar mevcuttur, Alegria, Dias ve Caires'in (3) çalışmasında Macintosh bilgisayarları üzerinde çalışan MACLOGIC adındaki mantık programlama arabirimi geliştirilmiştir. Kullanıcının isteğine göre güçlü UNIX sistemlerinden oluşan hizmet vericilere erişim, değişik tipte bilgisayarlar kapsayan bir ağ içerisinde sunulmuştur. Bu çalışmanın ana kısımları az miktarda veri yollamayı amaçlayan bilgi yapıları ve eşzamansız çalışan haberleşme protokollerinin geliştirilmesi olarak göze çarpmaktadır.

Naish, Dart ve Zabel'in (4) çalışmasında ise Edinburgh Prolog'un geliştirilmiş bir hali olan NU-Prolog için kapsamlı bir hata bulucu gerçekleştirilmiştir. Çalışma, kaynak programın sözdizim açısından analizi, kullanılmayan kural ve prosedürlerin bulunuşu, sonsuz döngülerden kaçınılması, değişken tiplerinin kontrolü ve önemsiz değişkenlerin bulunması türünde statik analizler içermektedir. Ayrıca programcının öngördüğü akış mantığı ile programın gerçek akışının karşılaştırılmasına yönelik diyaloglar, kuralların mevcut bilgi ve gerçeklerle uyumunun otomatik olarak test edilmesi şeklinde kolaylıklar da içermektedir.

Adı geçen çalışmalarda, geliştirdiğimiz hata bulucu oranla ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

paralel işleme için sağlanan olanaklar daha sınırlıdır. NU-Prolog hata bulucusunda program akışının daha kolay izlenmesini sağlayacak bir grafik arabirimi bulunmamaktadır, geliştirdiğimiz hata bulucuda ise bu gerçekleştirilmiştir. Diğer çalışmada ise Macintosh bilgisayarlarına özgü kapsamlı ve esnek kullanıcı arabirimlerinden hemen hemen tümüyle yararlanılmıştır, Buna karşın bir paralel işleme modelinden çok, kullanımı programcının isteklerine bırakılmış bir dağıtık mantık programlama ortamı sunulmuştur,

Paralel Prolog çalıştırma modelleri alanında yapılan araştırmaların halen hızla devam etmekte olması ve çok değişik ortamlarda ele alınması nedeniyle bu alanda standart kabul edilebilecek bir model henüz mevcut değildir. Bu nedenle genel kapsamlı bir hata bulucu geliştirilmesi oldukça güçtür. Dolayısı ile yazının konusu olan çalışmanın, sunduğu olanaklar ve genel yapısı açısından değerlendirilmesi daha sağlıklıdır, Nesneye yönelik programlama yöntemlerinden yararlanılması sayesinde kullanıcı arabirimi ve Paralel Prolog Modeli ile ilişkili yazılımlar birbirlerinden kolayca ayırt edilebilmektedir. Bilindiği gibi nesneye yönelik programlamanın en önemli amaçlarından birisi yeniden kullanılabilme özelliği bulunan kaynak ve çalıştırılabilir kod üretilmesidir. Bu açıdan gerçekleştirilmiş olan hata bulucunun kullanıcı arabirimi pek çok uygulamaya örnek ve kaynak oluşturacak niteliktedir.



KAYNAKLAR

1. An OR Paralel and Restricted AND Paralel Nonbacktracking Prolog Execution Model.

M. BARAY & I. AYBAY
 Proc. of the 5th Int'l
 Paralel Processing
 Symp., Anneheim, CA
 pp. 642-645, 1991 USA

2. TURBO PASCAL FOR
 WINDOWS

Reference Manuals
 1991 BORLAND INC.

3. Towards Distributed Tools for
 Heterogeneous Logic Programming
 Environments

Jose. A.S. Alegria,
 Artur M. Dias and Luis Caires
 Proc. of Sixth Int'l Conf. on
 Logic Programming .
 pp. 505-520, 1989 Lisbon

4. The NU-Prolog Debugging
 Environment

L. Naish, Philip W. Dart and J.
 Zobel

Proc. of Sixth Int'l Conf. on
 Logic Programming .
 pp. 521-536, 1989 Lisbon



Ahmet Mirasoğlu 1967 yılında Ankara'da doğdu. 1989 yılında O. D. T. Ü. Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Daha sonra aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. 1990 yılından beri T. İŞ Bankası Bilgi İşlem Müdürlüğünde sistem programcısı olarak çalışmaktadır.



Y.Doç.Dr . İşıık Aybay O.D.T.Ü. Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümünden Lisans, Y. Lisans ve Doktora derecelerini aldı. Fulbright bursu ile ABD'de SUNY at Stony Brook'ta asistan olarak çalıştı. 1985'ten beri O.D.T.Ü.'de ders vermektedir.

TÜRKÇE BİR METNİN KONUŞMAYA DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Mehmet Mete BULUT
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
ODTÜ, 06531 Ankara

Özet Bu bildiri, bir bilgisayar dosyasının içindeki Türkçe bir metnin sese dönüştürülerek okunması için yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Çalışma iki ana aşamadan oluşmaktadır. Aşamalardan birincisi bilgisayara ses dalga şekillerinin öğretilmesidir. Bu aşamada bir insanın konuşması örneklenerek bilgisayara aktarıldıktan sonra konuşma için gereken seslerin elde edilmesi için işlenmiştir. İki harfli heceler ve soyutlanmış harfler ses oluşturmunda kullanılmıştır. Bu şekilde konuşmanın ses niteliği yükseltilirken, bellek kullanımı da daha az bir alanla sınırlandırılmıştır. İkinci aşama ise, okuma aşamasıdır. Bu aşamada herhangi bir dosyadaki metnin konuşmaya dönüştürülmesi işlemi yapılmaktadır. Metnin konuşmaya dönüştürülmesi için, ilk önce metin hecelere ayrılır. Daha sonra ilk aşamada elde edilen ses örnekleri uygun şekilde birleştirilerek metnin ses dalga şekli sayısal olarak oluşturulur. Oluşturulan sayısal bilgi daha sonra bir sayısal-analog dönüştürücü ve hoparlör aracılığı ile konuşma şekline getirilmektedir.

1. Giriş

Bu bildiri, bir bilgisayar dosyasının içindeki Türkçe bir metnin sese dönüştürülerek okunması için geliştirilen bilgisayara dayalı bir sistem anlatılmaktadır. Sistemin girdisi ASCII formatta saklanmış bir metin dosyası, çıktısı ise bu metnin seslendirilmiş şeklindedir. Konuşma oluşturulmasında konuşma birimlerinin birbirlerine eklenmesi yöntemi kullanılmıştır.

İnsan sesinin oluşturumu için akciğer, gırtlak ve ses telleri kullanılır. Ciğerler

havayı gırtlak üzerinden ses tellerine iterler. Deri tabakalarından oluşmuş olan ses telleri titreşerek değişik çınlama sıklıklarında ses üretirler. Çınlama sıklığı boğaz, diş, dil ve dudakların şekline göre değişir. Böylece değişik sesbirimleri (phoneme) oluşur. Bu şekilde oluşan sesbirimleri birbirlerine eklendiklerinde konuşma meydana gelir [1,2,3].

Konuşma oluşturmada temelde iki teknik kullanılarak yapılır. Bu teknikler doğal ve yapay olarak adlandırılırlar. Doğal konuşma oluşturmunda insan sesinden alınan örnekler kullanılırlar. Yapay konuşma oluşturmunda ise sesbirimlerin dalga şekilleri yapay olarak elde edilir. Her iki teknikte de örnek dalga şekillerinin birbirlerine eklenmesi ile konuşma üretilir [1,3].

Örnek dalga şekillerinin birbirlerine eklenmesi yöntemi değişik ses birimlerine uygulanabilmektedir. Bu birimler sesbirim, hece, ve kelime olabilir [1,2,3]. Birimlerin seçimine göre ses niteliği ve dalga şekli saklama alanı değişmektedir. En nitelikli ses kelime birimlerinin birleştirilmesi ile elde edilmektedir. Öte yandan kelime birleştirme yöntemi en fazla saklama alanı isteyen yöntemdir. Saklama alanının kısıtlanması seslendirilebilen kelime sayısını da kısıtlamaktadır.

Hece birimleri kullanıldığı durumda ses niteliği ve saklama alanı azalmaktadır. Birleştirme yöntemleri içinde en az yer tutan sesbirim birleştirme olup ses niteliği en düşük olan da yine sesbirim birleştirmedir.

Yapılan çalışmada bu üç birim birleştirmesi karışık olarak kullanılmıştır.

Çalışma iki ana aşamadan oluşmaktadır. Aşamalardan birincisi bilgisayara ses dalga şekillerinin öğretilmesi, ikincisi ise bir dosyadaki metnin konuşmaya dönüştürülmesidir.

2. Ses Dalga Şekillerinin Bilgisayara Öğretilmesi

Türkçe bir metnin konuşmaya dönüştürülmesi çalışmalarının birinci aşaması ses dalga şekillerinin bilgisayara öğretilmesidir.

Bu aşama için öncelikle bilgisayara öğretilecek birimlerin tanımlanması gerekmektedir. Bu birimler sesbirim, hece veya kelime olabilmektedir. Bu birimlerden sesbirimler kullanıldığı takdirde dalga şekilleri saklama alanı en alt düzeyde olmaktadır. Ancak iki sesbirim arasındaki geçiş bölgesinin aradeğerleme yapılarak

yöntemlerden yapay olarak adlandırılarda sesi oluşturan ana sıklık ve katsıklık bileşenleri birleştirilerek ilgili sese ait formant bandı oluşturulur. Bu şekilde tüm sesbirimlerin dalga şekilleri elde edilmiş olur. Doğal olarak adlandırılan yöntemde ise sesbirimlerin dalga şekilleri insan sesinden örneklenerek oluşturulur. Yapılan çalışmada doğal yöntem kullanılmıştır.

Doğal yöntemde ünsüz harflerin tek başlarına düzgün olarak çıkarılabilmeleri çok zor olduğu için bilgisayara önce 'ba\`ca' gibi ünsüz harflerle başlayan iki harfli hecelerin dalga şekilleri öğretilmiştir. Daha sonra bu dalga şekilleri işlenerek sesbirimler ayrıştırılmış ve gerekli ünsüz sesbirim dalga şekilleri elde edilmiştir.

Şekil 1 de örnek olarak 'ba" hecesinin dalga şekli verilmektedir.



Şekil 1 .`ba" hecesinin dalga şekli.

geçiş sesi dalga şeklinin de oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem ise bazı ay kın dizimlerde daha belirgin olmak üzere ses niteliğinin düşmesine neden olmaktadır.

Türkçede 29 harf olmasına karşın 34 tane sesbirim vardır[4]. Bunun nedeni g,ğ,h,k, ve l harflerinin ön ve arka ağız olmak üzere iki sesleri olmasıdır. Her bir sesbirim saklama alanında yaklaşık 1 Kbyte yer işgal etmektedir. Buna göre bu yöntem için gereken saklama alanı yaklaşık 34 Kbyte kadardır.

Bu yöntemi uygulayabilmek için sesbirimlerin dalga şekillerinin bilgisayara öğretilmesi gerekmektedir. Bu iş için kullanılan iki yöntem vardır. Bu

Bu ayrıştırma işleminde 'y' ünsüzü kendisine ekli ünlü ile tamamen içice girdiği için ayrıştırmak mümkün olamamış ve bu harf için ünlü eklentili geçiş sesli dalga şekilleri oluşturulmuştur. Bu durumda saklama alanı 57 Kbyte olmaktadır.

Sesbirim birleştirme yöntemi üzerine yapılan çalışmalarda ses niteliğini yükseltmek için, aradeğerleme yerine geçiş sesleri de bilgisayara öğretilme yoluna gidilmiştir. Bu durumda saklama alanı sesbirimleri kullanımına göre artmakta fakat hece birimlerine göre daha az olmaktadır. Bu durumda saklama alanı için yaklaşık 100 Kbyte gerekmektedir.

Ancak ses niteliği sesbirim kullanımına göre daha yüksek olmaktadır.

Hece birimleri kullanıldığı takdirde ses niteliği oldukça yükselmekte ancak saklama alanı da artmaktadır. Türkçenin sesleri kullanıldığı takdirde yaklaşık yüzbin hece oluşturulabilmektedir. Bu hecelerin dalga şekillerinin saklanması için ise 200 Mbyte yer gerekmektedir. Bu ise oldukça büyük bir alandır. Yüzbin hece olmasına karşın, Türkçede kullanılan hece sayısı ise yaklaşık yinmibin tanedir. Yalnızca bu hecelerin dalga şekilleri saklandığı zaman ise yaklaşık 40 Mbyte yer gerekmektedir. Bu rakam da oldukça büyüktür. Ayrıca özünde Türkçe olmayan yabancı kökenli bir kelime kullanıldığı takdirde ses oluşturmada mümkün olamamaktadır.

Kullanılabilecek bir diğer birim ise kelimelerdir. Bu durumda Türkçede kullanılan tüm kelimelerin, çekimlerinin, türemiş hallerinin ses dalga şekillerinin bilgisayara öğretilmesi gerekir. Bu durum hem bellek açısından hem de ses örneği veren kişi açısından son derece sorunlu bir durumdur. Böyle bir durumda yapılabilecek işlem, konuşma alanını sınırlandırmak olabilir. Bu ise sistemin genel amaçlılığına aykırıdır. Bir başka çözüm ise yapıbirim (morpheme) kullanmaktır. Bu durumda yalnızca kökler ve eklerin dalga şekilleri bilgisayara öğretilir. Konuşma oluşturulmasında seslendirilecek kelime çözümlenerek kök ve eklerine ayrılır ve karşılık gelen dalga şekilleri kullanılarak kelime ses olarak oluşturulur. Bu durumda da bellek gereksinimi oldukça fazladır.

Çalışmaların başlangıcında yalnızca sesbirim dalga şekilleri kullanılmıştır. Bu durumda ses niteliği donanım olanaklarına göre az bulunmuş ve geliştirilen sistemde yukarıdaki birleştirme birimlerinin karışık olarak kullanılması yoluna gidilmiştir. Böylece saklama alanı

fazlaca yükseltilmeden ses niteliği artırılmıştır.

Bu işlem için 34 sesbirim, 416 iki harfli hece, 'y' ünsüzü için 16 geçiş sesi ve bazı özel kelimelerin dalga şekilleri bilgisayara öğretilmiştir. Bu ise yaklaşık 1.4 Mbyte bir saklama alanı gerektirmektedir.

Bu birimlerin dalga şekillerinin bilgisayara öğretilmesi için yalnızca bir ve iki harfli heceler ve istenen özel kelimeler kullanılmıştır. Özel kelimelerin dalga şekilleri doğrudan elde edilmiştir. Ayrıca alınan bir ve iki harfli hecelerin dalga şekilleri de doğrudan kullanılmıştır. Sesbirimlerinin dalga şekillerinin elde edilmesi için ise iki harfli hecelerin dalga şekillerinden faydalanılmıştır. Bu işlem için iki harfli hecelerin dalga şekilleri bilgisayara kaydedilmiş ve zaman bölgesi grafiği oluşturulmuştur. Daha sonra bu grafik kullanılarak sesbirimlerin geçiş noktaları belirlenmiş ve gerekli sesbirim dalga şekilleri elde edilmiştir. Bu yöntem 'y' ünsüzü için başansız olduğu için bu sesbirimin yalıtılmış dalga şeklinin oluşturmada mümkün olamamıştır. Bu nedenle bu ünsüz kendinden önce ve sonra gelen ünlülerle birlikte işlenmiş ve onaltı tane dalga şekli oluşturulmuştur.

Şekil 2 de örnek olarak "ba" hecesinden elde edilmiş 'b' sesbirimi için dalga şekli verilmektedir.



Şekil 2. 'ba' hecesinden elde edilmiş 'b' sesbirimi dalga şekli.

Ses birimi dalga şekillerinin sisteme bir kere öğretilmesi yeterli olmaktadır. Öğretme işi bir kez tamamlandıktan sonra, konuşma oluşturma programı kullanıldığı sürece herhangi bir metin kolaylıkla Türkçe konuşmaya dönüştürülebilmektedir.

3. Türkçe Konuşmanın Oluşturulması

Çalışmanın ikinci aşamasında ise konuşma oluşturmak için bir yazılım geliştirilmiştir.

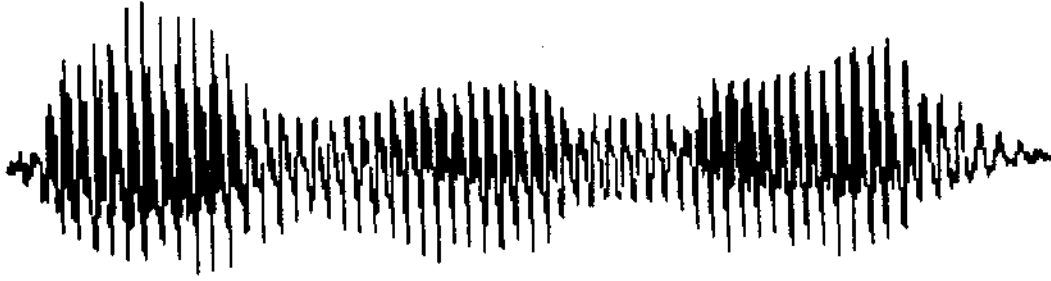
Metnin konuşmaya dönüştürülmesi, metni oluşturan yazı öğelerinin ayrıştırılarak bu öğelerin ses dalga şekillerinin bulunup birbirlerine eklenmesi ilkesine dayanmaktadır.

Metin konuşmaya dönüştürülmesi işlemine sol üst köşesinden -başından-başlanır. İlk kelime metinden ayrıldıktan sonra bu kelimenin tamamının ses dalga şeklinin bir bütün olarak kayıtlı olup olmadığı araştırılır. Eğer kelimenin ses dalga şekli kayıtlı ise bir sonraki kelime ile işlem devam eder. Eğer kelimenin dalga şekli kayıtlı değilse kelime kendini oluşturan hecelere ayrıştırılır. Bu hecelerden tek ve iki harfli olanların ses

dalga şekilleri kayıtlardan doğrudan alınırken üç ve dört harfli hecelerin ses dalga şekilleri iki harfli hece dalga şekilleri ve sessiz harf sesbirimlerin dalga şekilleri kullanılarak elde edilir. Yabancı dil kökenli kelimelerdeki beş harfli heceler için de üç ve dört harfli hecelere uygulanan yöntem kullanılmıştır. Daha sonra bu dalga şekilleri birbirlerine eklenerek bir DĀ dönüştürücü aracılığı ile yükseltece gönderilir.

Şekil 3 te "deneme" kelimesinin doğrudan kaydedilmiş ve oluşturulmuş dalga şekilleri verilmektedir.

Konuşmanın oluşturulmasında karşılaşılan iki sorun vardır. Bunlardan birincisi "tren" gibi yabancı kökenli kelimelerin okunmasıdır. Örneğin bu kelime hecelerine ayrıldığı zaman "t-ren" yapısı ortaya çıkmaktadır. Tek başına duran ünsüz "t" bu kelimenin aykırı türden



a) "Deneme" kelimesinin doğrudan kaydedilmiş dalga şekli.



b) "Deneme" kelimesinin oluşturulmuş dalga şekli.

Şekil 3. "Deneme" kelimesinin a) doğrudan kaydedilmiş, b) oluşturulmuş dalga şekilleri.

olduğunu belirtmekte ve program bir sözlüğe başvurarak T ünsüzünden sonra hangi ünlünün geleceğini bularak bu harfi iki harfli bir heceye çevirmekte ve oluşturulan bu yeni hecenin ses dalga şeklini kullanmaktadır. Gelebilecek ünlü harf için bir kural bulunmamaktadır.

İkinci sorun ise bazı harflerin değişik yerlerde değişik biçimde okunmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin T harfinin 'kollu' ve 'alkol' kelimelerindeki okunuşu farklıdır. Bu sorun da yine bir sözlük kullanılarak aşılmıştır. Bu durum yalnızca kalın ünlülerle birlikte bulunan çift sesli ünsüzlerin bulunduğu kelimelerde olabilmektedir. Bu nedenle yukarıdaki koşulu sağlayan bir kelimeyle karşılaşıncı bu kelimenin sözlükte bulunup bulunmadığı araştırılmaktadır. Eğer kelime sözlükte bulunuyor ise hangi harfin alışılmışın dışında okunduğu sözlükten belirlenip bu okumaya uygun ses dalga şekli kullanılarak kelime konuşmaya dönüştürülmektedir. Bazı kelimelerde ise cümle temelinde inceleme yapılmadan bu sorun aşılamamaktadır. Örneğin 'kar' kelimesindeki 'k' harfi. Bazı durumlarda ise bu tür kelimelerin doğru okunuşunu bulmak için cümle bile yeterli olamayabilmektedir. Örneğin 'hala gelmedi' cümlesindeki 'hala' kelimesinin 'h' ve T harfleri. Bu tür sorunlar şu andaki çalışmanın dışında tutulmuştur.

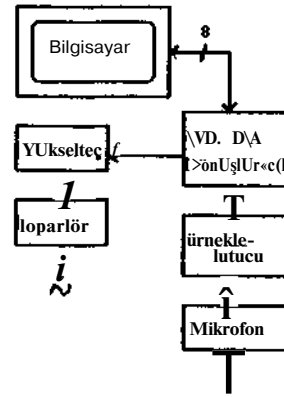
Sayıların okunması için ise, önce sayı kendini oluşturan rakamlara ayrıştırılmaktadır. Daha sonra bu rakamların sayının içindeki basamak konumlarına göre gereken yerlere milyar, milyon, bin, yüz gibi ek kelimeler konularak sese dönüştürülmektedir.

4. Donanım

Sistem için çok basit bir donanım seçilmiştir. Donanımda 80386 veya 80486 tabanlı IBM uyumlu bir bilgisayar kullanılabilir. Öğrenme aşaması

için ek olarak bir A/D dönüştürücü ve örnekle-tutucu ile mikrofona gerekmektedir. Sistemde kullanılan A/D dönüştürücü 8 bit olup örnekleme frekansı 11 KHz olarak belirlenmiştir.

Konuşmanın elde edilmesi için gereken ek donanım ise bir D/A dönüştürücüdür. D/A dönüştürücünün çıkışı doğrudan bilgisayarın hoparlörüne bağlanabilir. İstendiği takdirde konuşma bir yükselteç aracılığı ile de elde edilebilir. Şekil 4 te sistem donanımı verilmektedir.



Şekil 4. Sistem donanımı.

5. Sonuç

Anlatılan sistem körler için bir okuma aracı olarak geliştirilmiştir. Bu nedenle konuşma niteliği ve ederi iki önemli kriter olarak alınmıştır. Geliştirilen sistemde mümkün olduğunca düşük edere karşılık mümkün olduğunca yüksek nitelikli konuşma amaçlanmış ve başarılmıştır. Konuşma kesintisiz olarak oluşturulabilmektedir.

Oluşturulan konuşmanın niteliği yüksek olmasına rağmen doğal insan konuşmasından düşüktür. Bunun nedenleri insan konuşmasında doğal olarak oluşturulan ezgi, vurgu ve sürelemeler olmasıdır. Oluşturulan konuşmada bu öğeler bulunmamaktadır.

Süreleme sorunu Şekil 3 te açıkça görülmektedir. Süreleme sorununu çözmek için birleştirilen bitimlerin metin içindeki karşılıklarının yer bilgisi kullanılabilir. Metnin çözümlenmesi sırasında birimlere karşılık gelen örnek ses dalga şekillerinin ne kadar süreli olarak konuşmaya katılacağına karar verilebilir. Ancak sürelemeyi oluştururken örnek dalga şeklinin rastgele kesilmesi de konuşma niteliğini düşürür. Bunu engellemek için aynı birime karşılık gelen değişik süreli örneklerin oluşturulması gerekir. Bu durumda da saklama alanı artar.

Geliştirilen Türkçe bir metni konuşmaya çevirme sisteminde şu anda vurgulama ve ezgi öğeleri de yoktur. Ezgi ve vurgulama öğelerinin bulunmaması da oluşturulan konuşmanın niteliğini düşürmektedir. Vurgulama ve ezgi daha sonraki çalışmalar için düşünülmektedir. Ezgi ve basit bir vurgulama yalnızca noktalama işaretleri kullanılarak verilebilir. Ancak ayrıntılı bir vurgulama için cümle temelinde çözümlenme gerekmektedir. Bunun için Türkçenin çözümlenmesini yapan ek bir yazılım ve sözlük dosyaları gerekmektedir.

Ses niteliğini düşüren bir başka etken ise ses örneklerinin alınış biçimidir. Ses örnekleri şu andaki sistemde doğrudan alınmıştır. Ses örneklerinin bir AGC aracılığı ile alınması ve bu işlem sırasında bir süzgeçten geçirilmesi ses niteliğini yükseltecektir. Ayrıca ses çıkışında da süzgeç kullanılarak ses niteliği artırılabilir.

Sistem yazılım, sözlük ve ses dalga şekilleri örnekleri ile 1.8 MByte saklama alanı gerektirmektedir. Süreleme ve ezgi öğelerinin konuşmaya eklenmesi ile saklama alanı yaklaşık 3 MByte olacaktır.

Şu anda konuşma oluşturmaya çalışmalarına paralel olarak Türkçenin

bilgisayara dayalı çözümlenmesi çalışmaları da yürütülmektedir. Bu çalışmaların sonucunda çıkacak yazılımın konuşma oluşturma sistemine vurgulama için eklenmesi düşünülmektedir. Bu durumda gerekecek olan toplam saklama alanı yaklaşık 5 Mbyte kadardır.

6. Kaynaklar

1. J.N. Holmes, "Speech Synthesis and Recognition", Van Nostrand Reinhold (UK) Co. Ltd., 1988, Berkshire, İngiltere.
2. Sadaoki Furui, "Digital Speech Processing, Synthesis, and Recognition", Marcel Dekker Inc., 1989, New York, ABD.
3. Andrew, C. Staugaard, Jr, "Robotics and AI An Introduction to Applied Machine Intelligence", Prentice Hall Inc., 1987, Englewood Cliffs, ABD.
4. Ö. Demircan, "Türkiye Türkçesinin Ses Düzeni, Türkiye Türkçesinde Sesler", Türk Dil Kurumu Yayınları, 1979, Ankara.



Mehmet Mete BULUT, Y. Doç. Dr. 2-7-1956 tarihinde Isparta'da doğmuştur. Lisans, Yüksek lisans ve Doktora çalışmalarını ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünde sırasıyla

1979, 1981, 1987 yıllarında tamamlayıp diploma unvanlarını almıştır. 1987 yılından beri aynı üniversitede Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır. İlgili alanları sayısal tasarım, mikro işlemciler, yapay us ve örüntü tanıma, Türkçenin bilgisayara dayalı işlenmesidir.

Parallel Yapıda bir Dağıtık Kuyruk İkili Anahat (DQDB) Düğümü

Semih Bilgen Lütfullah Kuşdemir

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Özet

Bu bildiride IEEE 802.6 DQDB ağ bağlantısında veri hızını Gigabit/saniye düzeyine çıkartabilecek bir MAC (Ortam Erişim Denetimi) işlemci yapısı önerilmektedir. İşlemci, günümüz piyasasından seçilmiş genel amaçlı işlemcilerin çok işlemcili bir mimari çerçevesinde bir araya getirilmesiyle oluşturulmaktadır, önerilen yapı, temel olarak paralel çalışan hizmet boru yollarından oluşmakta, alma ve gönderme işlemleri de ayrı ve paralel olarak gerçekleştirilmektedir. Protokol veri birimlerinin katman hizmet öbekleri arasında fiziksel olarak aktarımını ortadan kaldırmak ve farklı hizmet alt katmanları arasında veri birimlerinin paralel işlenebilmesi için alma ve gönderme işlemlerinde ayrı ayrı çok kapılı bellekler kullanılmaktadır.

Anahat sözcükler: HSLAN-yüksek hızlı ağlar, MAN-kentsel ağlar, DQDB-Dağıtık Kuyruk İkili Anahat, Paralel Yapılar.

1. Giriş

Orta iletişim hızlarında yerel bilgisayar ağları günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzlerce Mb/s iletişim hızlarında yüksek hızlı yerel bilgisayar ağlarının ve kentsel bilgisayar ağlarının gelişmesi, iletişim dizgelerinin tasarımında ve gerçekleştirilmesinde yeni kısıtlar oluşturmaktadır. İletişim dizgelerinin geleneksel sıkıntısı kısıtlı veri ortam iletim hızı idi. Fiber optik teknolojisiyle bu sorun ortadan kalkmış, fakat optik iletişim ortamındaki onlarca Gb/s veri iletişim hızına uyacak protokollerin oluşturulması, var olan protokollerin uyarlanması sorunlarını getirmiştir. Bu hızlara uyabilmenin temel koşullarından birisi, özellikle fiziksel katman ve ortam erişim denetimi katmanı protokollerinin daha yüksek performansla ulaşmasıdır. Protokollerin daha hızlı işlenmesi

yalnızca hızlı ağlarda iş çıkışı artırmakla kalmaz, aynı zamanda kütleli hatalara karşı tepkiyi de hızlandırır. Kütleli hata, aynı anda çok sayıda sanal devrenin, fiziksel bağlantı kopması, birim arızası gibi nedenlerle yitirilmesi ve bunun sonucunda paket yinelenmeler, süre-kısıt işlemleri gibi normal paket trafiğinden çok daha yoğun işlem yükü getiren durumlardır. Sorun, alt servislerin yokluğundan ötürü üst protokol katmanlarına da kolaylıkla bulaşabilir. Daha hızlı protokol yapıları, bu tür hatalara karşı dizgede yaşamsal önemdedir.

Daha iyi performansla erişimin yolları; daha hızlı yonga teknolojileri, paralel algoritmalar, eniyileyen derleyiciler, daha az yüklü protokoller ve yeni yapıları kullanmaktan geçer. Literatürde OSI katmanları (örneğin taşıma katmanı) için çok işlemcili yapılar önerilmiştir. Ortam erişim denetimi katmanı için de özel donanım kullanımına yönelik (ve dolayısıyla pahalı) çözümler önerilmektedir. Bu çalışmada başka bir yöntem kullanılmaktadır: Genel amaçlı işlemcileri çok işlemcili bir ortama uyarlayarak IEEE 802.6 DQDB ortam erişim denetim katmanını yapılandırmak ve bu yolla önemli ölçüde performans artırımına ulaşmak.

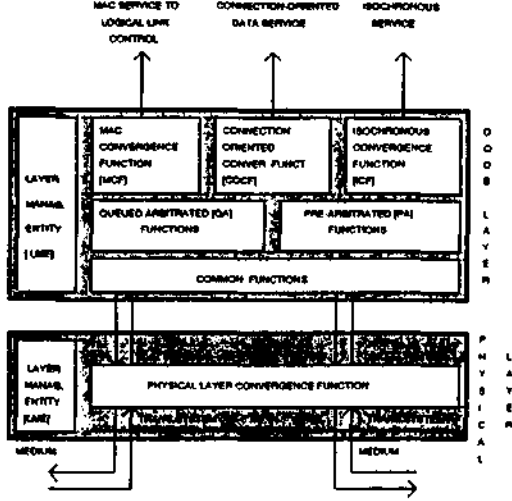
Bu bildiride, DQDB erişim protokolü ayrıntılı olarak ele alınmayacaktır. O konuda standart kaynaklara [1,2] başvurulabilir. Aşağıda, doğrudan doğruya önerilen paralel işlemci yapısı özetlenecek ve öngörülen başarımlar düzeylerine değinilecektir.

2. Önerilen yapı

DQDB ortam erişim denetimi (MAC) katmanı, fiziksel katmanın hizmetlerinden yararlanmakta ve kendi üstündeki katmana hizmet sunmaktadır. Bu katmanın işlevsel mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

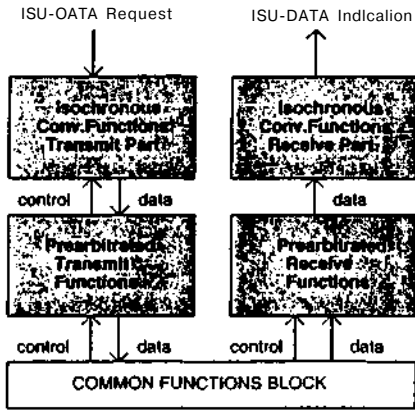
Önerilen yapı, işlemlerin elden gelen en yüksek düzeyde paralelleştirmesine dayalıdır. Bu çerçevede öncelikle gönderme ve alma veri yolları yatay olarak ayrılmış, daha sonra her bir yol üzerinde özdeş

zamanlı (isochronous), bağlantısal (connection-oriented) ve bağlantısız (connectionless) hizmetler paralelleştirilmiştir. Bunun ötesinde, her bir hizmet türünün karmaşıklık düzeyleri bakımından aynı mertebedeki alt işlevleri de paralel olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. DQDB katmanının işlevsel mimarisi

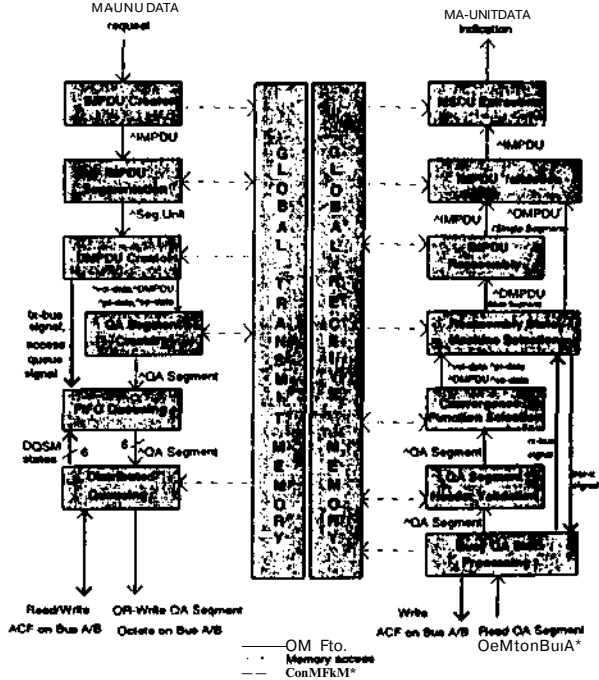
Şekil 2'de, alma ve gönderme yollarının herbirinde aynen bulunacak özdeş zamanlı hizmet biriminin paralel çalışacak ikişer işlevi, Şekil 3'te ise bağlantısal ve bağlantısız hizmetlerin gönderme yolunda altı, alma yolunda yedi paralel alt işlev içeren yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2. özdeş zamanlı hizmet işlemci mimarisi

Bu yapıların her birinde, gönderme ve alma yollarının ayrı ayrı birer çok kapılı belleği bulunacaktır. Her yolda, ilk aşamada protokol veri birimi ilgili çok kapılı belleğe yazılacak, daha sonraki alt işlevlerin işlemcilerine fiziksel ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ 5. ULUSAL KONGRESİ

veri aktarımı yapılmayacak, yalnızca ilgili veri alanının yerini gösteren bir göstermeç aktarılacaktır. Böylece bir yandan uzun veri alanlarının okuma/yazma külfeti ortadan kaldırılmakta, öte yandan, farklı alt işlev işlemcilerinin farklı veri birimleri üzerinde işlerini görmeleri sağlanmaktadır.



Şekil 3. Bağlantısal ve bağlantısız hizmet işlemci mimarisi

Her bir alt işlev işlemcisinin gördüğü işler, gerçekleştirdiği işlem basamakları ve mantıksal ardışıklığının sağlanması için bir sonraki işlev işlemcisine aktardığı bilgi (göstermeç) gibi ayrıntılar ayrıca incelenmiş bulunmaktadır^].

3. Öngörülen başarımlar düzeyi

işlemci başarımlarını kısıtlayacak belli başlı öğeler, paralel çalışan her bir işlemcinin hızı, her bir işlem basamağının gerektirdiği işlemlerin süreleri ve bunların birbirlerine yakınlık düzeyleri ile çok kapılı bellek birimlerinin okuma/yazma erişim döngü süreleridir.

Piyasadaki 3 ns. BICMOS 4Kx4 bit SRAM yongaları ve 2 ns BICMOS mandal devreleri kullanılarak oluşturulabilen bir çok kapılı bellekten 15 ns. düzeyinde erişim döngü süresi elde etmek olanaklıdır [4].

MIPS R4400 ve MC88110 benzeri, basit ve hızlı işlemcilerin 100 MIPS ve üzerindeki işlem sığılarıyla [5,6], ve yukarıda değinilen çok kapılı bellek türleriyle her bir DQDB hücresinin en fazla 424 ns içinde işlenebileceği gösterilmiştir [7]. Bu da veri aktarım hızının 1 Gb/s üzerine çıkabileceğini göstermektedir.

4. Sonuç

Önerilen yapının, hedeflenen Gigabit/saniye mertebesindeki veri aktarım hızlarını destekleyebileceği görülmektedir.

Bu yapının çeşitli işlemci birimleri, çeşitli çok kapılı bellek tür ve yapıları ve çeşitli ağ trafik özelliklerine bağımlı olarak nasıl başarımlı göstereceği, benzetim yöntemiyle incelenmekte olup ayrıntılı sonuçlar ayrıca yayımlanacaktır.

Önerilen mimarinin, günümüz piyasasında bulunan işlemci ve bellek birimleri yerine tümüyle özel amaçlı tümleşik devre olarak gerçekleştirilmesi durumunda ise söz konusu başarımlı düzeyinin bir kaç mertebe daha yükselmesi beklenmelidir. Ancak bunun mikroelettronik açısından incelenmesi ve gerçekleştirilmesi ayrı bir araştırma konusudur.

Kaynaklar

- [1] DQDB Subnetwork of a MAN - IEEE Std.802.6, 1990.
- [2] Newman, R.M.et.al., " The QPSX Man", IEEE Communications Magazine, April 1988, pp.20-28.
- [3] L. Kuşdemir, S. Bilgen, " A Highly Parallelized Architecture for a DQDB Node", ICNP 93, Uluslararası Ağ Protokolleri Konferansı, San Fransisco, 1993.
- [4] Product Focus: Ultra-Fast SRAMs, Computer Design, June 1993, pp.101-106.
- [5] Diefendorff K., Ailen M., "Organization of the Motorola 88110 Superscalar RISC Microprocessor", IEEE MICRO, April 1992, pp.40-63.
- [6] Mirapui S., et.al. "The MIPS R4000 Processor", IEEE MICRO, April 1992, pp.10-22.
- [7] Kuşdemir L., Bilgen S. "Time Overhead of DQDB MAC Layer Processing Based on a Parallel Architecture", Technical Report, METU EEE 93, To be published.

Semih Bilgen (Doç.Dr.)



1973 ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü mezunudur. 1976U... ABD'de Rennsseaer Polytechnic Institute'dan bilgisayar bilimi dalında yüksek lisans, 1982'de Kanada'da "iManitoba Üniver.itefi"nden elektrik mühendisliği doktorasını aldı.

1973-1974 yıllarında Arçelik AŞ.'de sistem çözümlenici olarak, 1976-1984 arasında ODTÜ İşletmecilik bölümünde öğretim görevlisi olarak çalıştı. 1984'den bu yana ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü üyesidir. Bilgisayar Ağları, yazılım mühendisliği ve bilgisayarda müzik çözümlenme gibi konularla ilgilenmektedir.

Lütfullah Kuşdemir (E.Yük.Müh.)

1982 ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü mezunudur. 1985 yılında ODTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden yüksek lisans almıştır. 1988 yılından bu yana ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde doktora çalışması yapmaktadır.

1982-1986 yıllarında ODTÜ Fizik Bölümü'nde araştırma asistanı olarak görev yapmış, 1986 yılından bu yana ODTÜ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Bilgisayar ağları, paralel yapılar, bilgisayar donanımı gibi konularla ilgilenmektedir.