

# MANHATTAN UZAKLIK FONKSİYONU KULLANAN RBF TİPİ BİR SİNAPTİK DEVRE TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Tülay YILDIRIM

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Yıldız Teknik Üniversitesi, 80750, Beşiktaş, İstanbul  
e-posta: tulay@yildiz.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Elektronik Devreler, Sinaptik Devre Tasarımı, Yapay Sinir Ağları, RBF Ağları, Manhattan Uzaklık Fonksiyonu*

## ABSTRACT

*In this paper, an RBF type synaptic circuit design using Manhattan distance function is presented. The Manhattan distance is much faster than the Euclidean in terms of computation. The proposed circuit can be alternatively used for the one using Euclidean distance when the speed of calculation is more important than the accuracy. The synaptic circuit was simulated using cdsSpice simulator in the Cadence design package on a Sun workstation and has been tested in actual environment of operation.*

## 1. GİRİŞ

Yapay sinir ağları ile ilgili devrelerin tasarımına yönelik çalışmalar son yıllarda yoğun bir ilgi toplamaktadır. Nöral ağ yapılarının çoğunda benzerlik ölçümlerini hesaplayan blokların tasarımı büyük önem taşımaktadır. Benzerlik ölçümü kullanılan ağ yapısına bağlı olarak ağırlıklı toplam, Euclidean uzaklığı, Manhattan uzaklığı gibi ölçümler olabilir. Bu bloklar daha sonra birleştirilerek nöronlara bağlantı sağlayan sinaptik devreler oluşturulmaktadır.

Literatürde oldukça sık kullanılan ileri beslemeli yapay sinir ağlarından biri RBF (Radial Basis Function - Radyal Temelli Fonksiyon) ağıdır. Bu ağlarda kullanılan sinaptik devrelerin amacı bir uzaklık ölçümünün hesaplanması ve nörona olan merkezlenmiş bağlantıların sağlanmasıdır. Euclidean uzaklığı, RBF (Radial Basis Function-Radyal temelli fonksiyon) ağlarında en yaygın kullanılan benzerlik ölçümüdür. Bu çalışmada, hesaplama hızının doğruluktan daha önemli olduğu durumlarda Euclidean uzaklığına alternatif olabilecek bir ölçüm olan Manhattan uzaklığı kullanılarak RBF tipi bir sinaptik devre tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan devre Cadence tasarım paketi içerisinde bulunan cdsSpice ile simüle edilmiştir. Ayrıca Europractise anlaşması altında Mietec 2.4'ün prosesi ile fretilmiş ve gerçek ortamda test edilmiştir.

## 2. ÖN BİLGİLER

Bir RBF ağı, bütün RBF merkezlerini ve lineer olmayan özellikleri gizli katmanda tutan ve parametre açısından lineer olan özel bir iki katmanlı ağ olarak ele alınabilir. Temelde, lokal olarak ayarlanmış veya lokal olarak duyarlı birimleri içeren tek bir gizli katman ve çoğu durumlarda lineer birimler içeren çıkış katmanından oluşur. Gizli katman ayarlanacak herhangi bir parametre olmaksızın sabit bir lineer olmayan dönüşümü gerçekleştirmektedir. Gizli katman birimlerinde, birim cevabı lokalleşmiştir ve girişlerin birimin altı alan merkezinden uzaklığının bir fonksiyonu olarak azalır.

RBF, giriş vektörü  $x$  ve merkez koordinatları  $c$  arasındaki  $r = \|x - c\|$  (burada  $\| \cdot \|$  bir vektör formudur) uzaklığına bağlı olan çok boyutlu bir fonksiyondur. Bu uzaklık RBF ağının ilk katmanında hesaplanır. Temel fonksiyonların herbiri hesaplanan uzaklığın lineer olmayan bir fonksiyonudur. RBF'nin genel yapısı aşağıdaki gibi verilir.

$$y_i = \sum w_{ij} \phi_j(\|x - c_j\|) \quad (1)$$

Burada  $y_i$  ağıın çıkışı,  $w_{ij}$  ikinci katmanın ağırlığı,  $\phi_j$  nonlineerlik,  $c_j$  merkez koordinatları ve  $x$  ağıın girişidir. [1,2,3]

RBF tipi sinaptik birimlerde giriş ve merkez vektörleri arasındaki uzaklığı hesaplayan bir aktivasyon fonksiyonu gereklidir.  $\| \cdot \|$  uzaklık ölçümü, genellikle (2) bağıntısı ile verilen Euclidean'dır.

$$\|x - c\| = \sum (x_i - c_i)^2 \quad (2)$$

$L^2$  normu olarak da bilinen Euclidean uzaklığının yaygın bir şekilde kullanımına rağmen, hızın doğruluktan daha önemli olduğu durumlarda sonuçları fazla değiştirmeyen fakat hesaplamalarda büyük ölçüde azalma sağlayan

Manhattan uzaklık fonksiyonu ( $L^1$  normu) kullanılabilir. Bu durumda aşağıdaki fonksiyon hesaplanır.

$$D'_i = \sum_k |x_k - c_k| \quad (3)$$

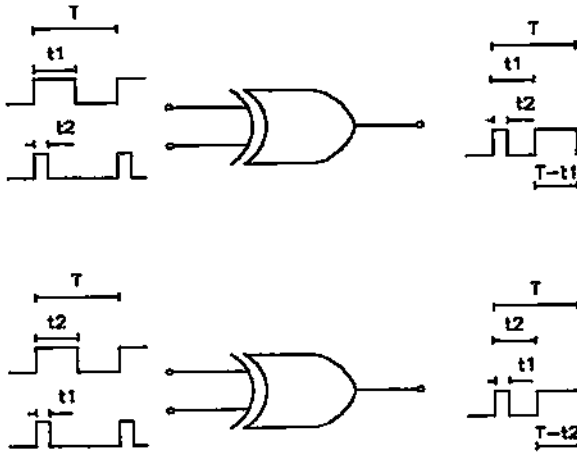
Aslında Manhattan uzaklığı Euclidean uzaklığının basitleştirilmiş halidir. Hesaplama daha çok daha hızlı olmasına rağmen ölçümde bazı hatalar üretir. Bu hata hesaplama hızının doğruluktan önemli olduğu durumlarda kabul edilebilir. Bu ölçüm (4) ve (5) bağıntılarında verildiği gibi kare alma ve karekök alma gibi fonksiyonları hesaplamaksızın Euclidean ölçümünün yapılmasına izin verir.

$$y = f(\sum |x_j - c_j|) \quad (4)$$

$$d_i(X) = \sum |x_j - c_j| \quad (5)$$

Burada verilen bir n-boyutlu  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  giriş vektörü ile i. merkez için depoların merkez vektörü  $C_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{in})$  arasındaki Manhattan uzaklığı (5) bağıntısı ile verilir. [2,4,5]

Girişlerin darbe genişlik modülasyonu ile temsil edildiği durumlarda  $|x_i - y_i|$ ,  $x_i$  XOR  $y_i$  ifadesine eşdeğer olduğu için Manhattan uzaklık fonksiyonunu basit bir şekilde XOR fonksiyonunu kullanılarak gerçekleştirilebilir [4,6]. Şekil-1, Manhattan uzaklık fonksiyonunu sağlamak için kullanılan XOR kapısının dalga şekillerini vermektedir.



Şekil 1. Manhattan uzaklığı için XOR kapısının dalga şekilleri

Burada  $t1 < t2$  için, XOR çıkışı ile periyot arasındaki ilişki

$$\frac{t1 + (T - t2)}{T} = 1 + \frac{(t1 - t2)}{T} \quad (6)$$

ve  $t1 > t2$  için, çıkışla periyot oranı arasındaki ilişki

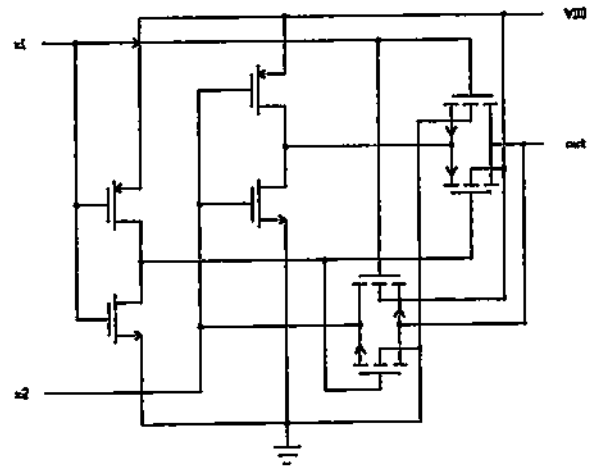
$$\frac{t2 + (T - t1)}{T} = 1 + \frac{(t2 - t1)}{T} \quad (7)$$

bağıntıları ile verilir. Bu bağıntılardan yararlanılarak tüm durumlar için aşağıda verilen darbe genişlik modülasyonu çıkış elde edilir.

$$\left\{ 1 - \frac{|t1 - t2|}{T} \right\} \quad (8)$$

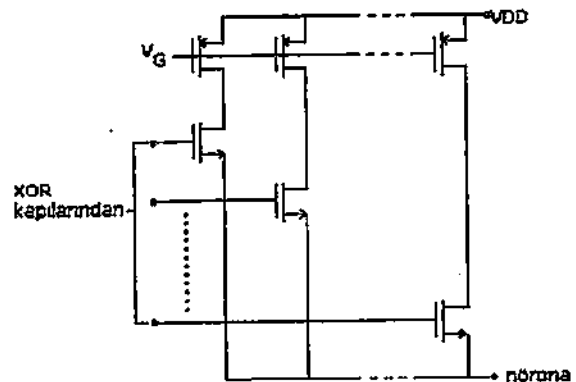
### 3. SİNAPTİK DEVRENİN TASARIMI

Sinaptik devrenin tasarımında XOR kapıları ve akım aynaları kullanılmıştır. Manhattan uzaklığının hesaplanması amacı ile Şekil-2'de gösterilen bir CMOS XOR kapı devresi tasarlanmıştır.



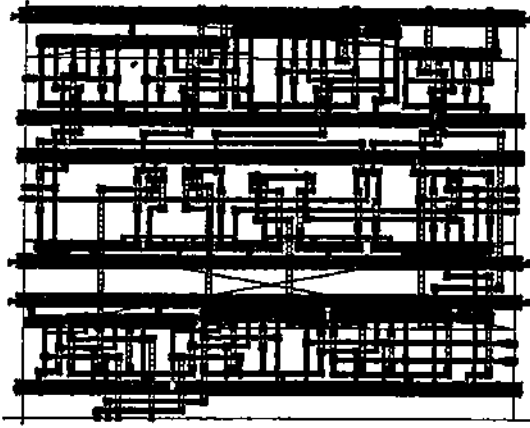
Şekil 2. XOR kapı devresi

Buradaki iki standard CMOS evirici, bir transmisyon kapı çifti ile kontrol edilen  $x1$  ve  $x2$  işaretlerinin tersini üretmektedir.  $x1 = 1$  ise, üstteki transmisyon kapısı açılır ve  $x2$ 'nin tersi çıkışa verilir, bu arada alttaki transmisyon kapısı kapalıdır.  $x1 = 1$  ve  $x2 = 0$  ise  $out = 1$  olur. Benzer şekilde, alttaki transmisyon kapısı da  $x1 = 0$  ve  $x2 = 1$  olduğu zaman çıkışın 1 olmasını sağlar. Böylece çıkışta  $out = x1 \oplus x2$  elde edilir. [6,7,8]

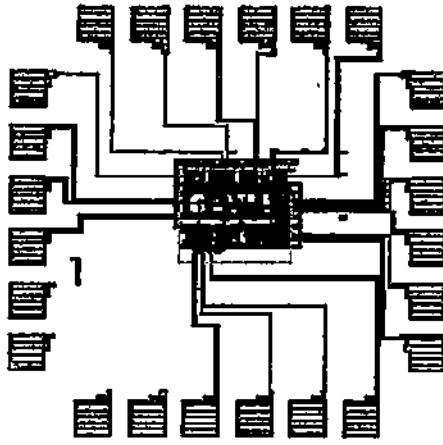


Şekil 3. Sinaptik devre

Tasarlanan RBF tipindeki sinaptik devrenin şematik gösterimi Şekil-3'de verilmektedir. Burada 8 sinaps kullanılmıştır. Devredeki akım aynaları nörona bağlantı için sinapsların çıkışının toplamını elde etmeye yarar. XOR kapısının çıkışlarına bağlanan bütün transistörlerin W/L oranı aynı olduğu için nörona olan bağlantı ağırlıkları da aynıdır. Böylece RBF ağı için gerekli olan ağırlıksız gizli katman bağlantıları yapılmış olmaktadır. Bu devre RBF tipi bir nörona giriş için merkezlenmiş ve toplamış girişlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Manhattan uzaklığı kullanılarak tasarlanan RBF tipi sinaptik devrenin fonksiyonunu gerçek ortamda gösterebilmek amacı ile Europractise anlaşması altında Mietec 2.4µm prosesi ile küçük bir test kırıktı üretilmiştir. Şekil-4 tasarlanan devreye ait maske yayılımı ve Şekil-5 de kırıktaın maske yayılımını göstermektedir.



Şekil 4. Devrenin maske yayılımı

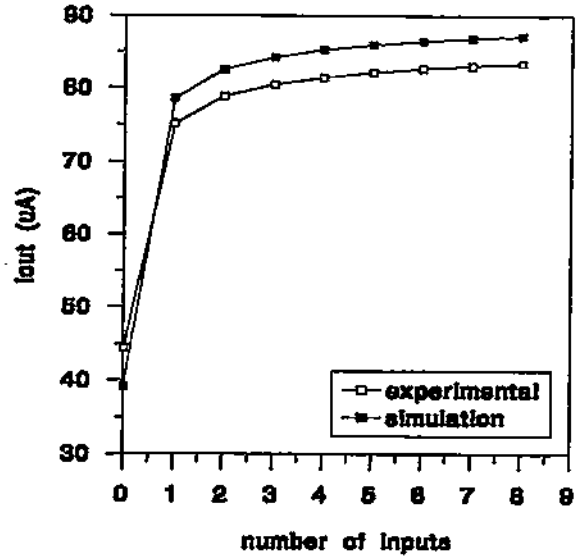


Şekil 5. Kırıktaın maske yayılımı

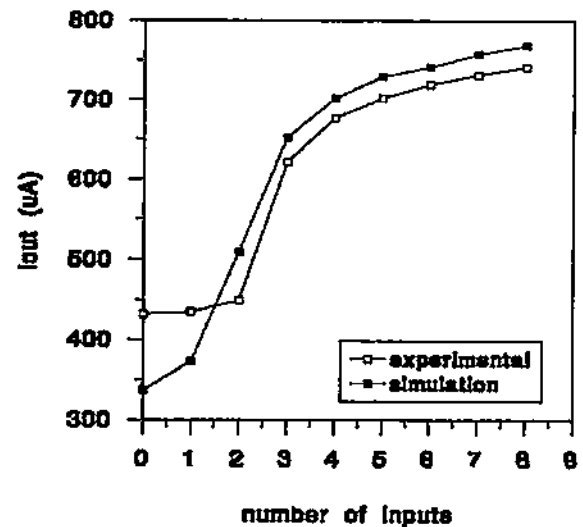
#### 4. SİMÜLASYON VE TEST SONUÇLARI

Yapay sinir ağı bloklarının simülasyon ortamından çıkılarak gerçek ortamda test edilmesi halinde beklenmedik davranışlar gözlemlenebilir. Bu nedenle tasarlanan devrelerin kırık haline getirilerek deneysel sonuçlarının elde edilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, nörona bağlanmak için toplanan sinapsların

davranışını göstermek amacı ile tasarlanan sinaptik devrenin çıkışına iki farklı direnç bağlanarak deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Başlangıçta bütün girişler toprağa bağlanmıştır. Sonra, her adımda, bir giriş lojik "1" seviyesine getirilmiştir. Son adımda, sekiz giriş de lojik "1" seviyesinde olur. Her adımda sinapsların çıkış akımlarının toplamı ölçülmüştür. Bu arada devre, aynı parametrelerle Cadence tasarım paketi kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon ve deneysel test sonuçları aynı grafik üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekil-6 ve Şekil-7 sırasıyla, çıkış direnç değerinin 100kΩ ve 10kΩ olması halinde sinaptik devrenin toplamış çıkış akımına ait simülasyon ve kırıktaın test sonuçlarını göstermektedir. Burada, x-ekseni lojik "1" seviyesine bağlanan girişlerin sayısını vermektedir.



Şekil 6. R=100kΩ için sinaptik devrenin çıkış akımı



Şekil 7. R=10kΩ için sinaptik devrenin çıkış akımı

Şekillerden de görüldüğü gibi simülasyon ve kırıktaın deneysel sonuçlar oldukça yakındır. Çalışmada ayrıca, kırıktaın kırıktaın herhangi bir farklılık olup olmadığını

anlamak için 8 farklı kırkık test edilmiş ve sonuçların bütün kırkıklar için  $\pm 5\%$  içerisinde uyumlu olduğu görülmüştür.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Manhattan uzaklığı kullanılarak RBF tipi bir sinaptik devre yapısı önerilmiştir. Tasarlanan ve gerçekleştirilen devrenin performansı Cadence tasarım paketi üzerindeki cdsSpice simülatörü ve deneysel kırkık sonuçları ile gösterilmiştir. Manhattan uzaklık fonksiyonunun Euclidean'a göre doğruluk açısından bazı hatalar üretmesine rağmen hızın daha önemli olduğu durumlarda bu yapı kullanılabilir. Ayrıca tasarım açısından Euclidean uzaklığının kullanıldığı yapılara göre oldukça basit bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Tümleştirmeye uygun olması da bu sinaptik devrenin daha büyük yapay sinir ağı yapılarının oluşturulmasında kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

## REFERENCES

- [1] S.Haykin, Neural networks: A comprehensive foundation, Macmillan College Publishing, NY, 1994.
- [2] R.Beale, T.Jackson. Neural computing: an introduction, Inst. of Physics Publishing, Bristol, UK, 1990.
- [3] S. Chen, P.M. Grant, S. Melanghlin, B. Mulgrew, Complex-Valued Radial Basis Function Networks, IEE Conference Publication, 1993, No.372, pp.148-152.
- [4] T. Yıldırım, Developments of conic section function neural networks in software and hardware, Ph.D. Thesis, University of Liverpool, Liverpool, UK, July 1997.
- [5] C. Park, K. Buckmann, J. Diamond, U. Santoni, S.C. The, M. Holler, M. Glier, C.L. Scofield, L. Nunez, A Radial Basis Function Neural Network with On-chip Learning, Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, 1993.
- [6] J.P. Hayes, Introduction to Digital Logic Design, Addison-Wesley, 1993.
- [7] P.E. Allen, D.R. Holberg, CMOS Analog Circuit Design, HRW Inc., 1987.
- [8] S. Kang, Y. Leblebici, CMOS Digital Integrated Circuits Analysis and Design, McGraw-Hill, 1996.
- [9] J. Anderson, J.C. Platt, D.B. Kirk, An Analog VLSI Chip for Radial Basis Functions, Neural Information Processing Systems 5, 1993, pp.765-772.
- [10] Solmaz, T., Yıldırım T., "An Euclidean Distance Calculation Circuit Implemented in CMOS Analog Hardware", Proceedings of TAINN'99 The Eighth Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks, pp. 197-202, Bogazici Univ., Istanbul, June 23-25, 1999.
- [11] Yıldırım, T., J.S.Marsland, "An RBF/MLP hybrid neural network implemented in VLSI hardware", Conf. Proc. of NEURAP'95 Neural

Networks and Their Applications, Marseilles, March 1996, pp. 156-160.

- [12] P.J. Griffiths, Implementation considerations for pulse width modulated neural networks with analogue weight storage, PhD dissertation, University of Liverpool, December 1995.
- [13] A.F.Murray, A.Hamilton, L.Tarassenko. Programmable analog pulse-firing neural networks, in: Advances in Neural Information Processing Systems 1, D.S.Touretzky, ed., CA: Morgan Kaufmann, 671-677, 1989.