

İKİ BOYUTLU PROFİLLERİN İŞLENMESİNDE TAKIM YOLU VE OFSETLEME İÇİN YENİ BİR ALGORİTMA GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa GÖKTAŞ*, Hakan DİLİPAK** ve Abdulmecit GÜLDAŞ**

*Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara

**Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

mgoktas@metu.edu.tr, hdilipak@gazi.edu.tr, aguldas@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 03.03.2009 ; Kabul/Accepted: 26.01.2010)

ÖZET

Bu çalışmada CNC freze tezgâhlarında cep frezeleme operasyonları için cep profiline uygun ve hatasız takım yollarının türetilmesi amacıyla yeni bir ofsetleme algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmada, dxf dosya yapısından cep profiline ait veriler okunmuştur. Ofset çizgileri ve ofset yayları profili oluşturan unsurların analitik denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Daha sonra hatalı kısımların atılması işlemini kolaylaştırmak için ofset çizgileri kesişim noktalarından kırılmıştır. Hatalı takım yollarının oluşmasına sebep olacak hatalı ofset kısımları atılarak ofsetleme operasyonu tamamlanmıştır. Algoritma, AutoCAD programında hazırlanan DXF dosyası ve Delphi ile hazırlanan bir program ile uygulanmıştır. Böylece, farklı örnekler için ofsetleme algoritmasının doğruluğu kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ofsetleme, unsur tanıma, ofset çizgilerinin kesişmesi, kesişen unsurların ayıklanması, DXF.

THE DEVELOPMENT OF A NEW ALGORITHM FOR TOOL PATH AND OFFSETTING OF TWO DIMENSION PROFILES MACHINING

ABSTRACT

In this study, a problem of offsetting enclosed profiles related to pocket milling in CNC has been approached by an analytical and new method is presented. In this algorithm, pocket milling properties are read from dxf file structure. Offset lines and arcs are calculated by analytical equations of items formed profile. Then, all of the items are trimmed at the intersection points of offset for simplifying unnecessary items. Inaccurate offset items are thrown away, which would cause incorrect tool paths and then offsetting operation is ended. The algorithm works with dxf files obtained from AutoCAD 2004® and is applied using Delphi® program. The developed offsetting algorithm has been approved in different applications.

Keywords: Offset, recognition of item, self-intersections, self-intersection elimination, DXF.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

CNC freze tezgâhında yapılacak iki boyutlu bir imalatta, iş parçası üzerindeki unsurlara göre, yüzeysel, çevresel, delik ve cep işleme yöntemleri mevcuttur. Özellikle cep işlemede takım yollarının belirlenmesi oldukça karmaşık bir işlemdir. Bu takım yolları; profil tekrarlayarak, zigzag ve karışık yöntem gibi farklı biçimlerde oluşturulabilmektedir. Profil tekrarlayarak oluşturulan yöntemde, kesici üzerindeki kesme kuvveti ve gerilim değişimleri en aza inmektedir [1]. Bu yöntemle takım yollarını oluşturmak, işlenecek pro-

filin ofsetlenmesi problemini ortaya çıkarmaktadır. Kesicinin temas konumuna ait verilerin, kesici konumuna ait verilere dönüştürülmesinde profilin ofsetlenmesi zorunluluk haline gelmektedir.

Ofsetleme süreci takım yollarının oluşturulmasını doğrudan etkilediğinden, ofsetlemedeki hatalar da takım yollarının yanlış türetilmesini ve işleme sürecindeki dalmaları ve bozuklukları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, ofsetleme işleminin doğruluğu son derece önem taşıdığı için ofsetleme işleminin doğru yapılabilmesi ve hataların giderilebilmesine

yönelik literatürde birçok çalışma yapıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda, dalma ve kalıntıların olmadığı takım yollarının türetilmesini sağlayacak ofsetleri elde etmek hedeflenmiştir.

Genel olarak ofsetleme problemlerinin çözümüne, “Rolling ball” yöntemi, geçersiz kapalı profillerin atılması temeline dayalı olan yöntemler [1, 2-8] ve “voronoı” diyagramları yöntemi [9, 10, 11] olmak üzere üç farklı yaklaşım vardır.

You, Sheen ve Lin, önerdikleri “rolling ball” yöntemi ile ofset mesafesi yarıçapındaki bir çemberi, profil sınırları boyunca, sanal olarak hareket ettirip, çember merkezinin çizdiği yolu, “quasi offset” olarak adlandırmışlar ve bu yolu ofsetleme sürecinde kullanmışlardır [1].

Geçersiz kapalı profillerin atılması temeline dayalı olan yöntemlerde, ofsetleme sonucu oluşan kapalı alanlardan hangilerinin geçerli, hangilerinin de geçersiz olduğu, geliştirilen algoritmalarla tespit edilip, geçersiz kapalı alanlar atılmaktadır. Lai, Wu, Hung ve Chen, tarafından geliştirilen çalışmada, sunulan “FLTM” diye anılan algoritma ile iki boyutlu kesişim problemleri, tek boyutlu aralık tanımlamalarına dönüştürülerek, ofset unsurlarının birbirleriyle kesişmesi sonucunda oluşan geçersiz kapalı alanlar, tespit edilip atılmaktadır [2].

Choi ve Park tarafından sunulan çalışmada ise, ofsetleme sürecine, ofsetleme işlemi engelleyecek darlıktaki aralıkları oluşturan unsurların atılmasıyla başlanmıştır. Sonraki adımda ise kaba ofsetleme ve bunun sonucunda ortaya çıkan geçersiz kapalı alanı oluşturan ofset unsurlarının atılması devam etmektedir [3].

Profil tekrarlayarak işleme algoritmalarındaki yaygın olan bir yaklaşım da yardımcı eğriler kullanarak ofsetleme yöntemidir. Bu yöntemi temel alan birçok çalışmada ofset unsurlarının birbirini kesmesini önlemek için “Voronoi” diyagramı diye anılan yardımcı eğriler kullanılmıştır. Profili oluşturan elemanlar yerine profili eğimin büyük olduğu noktalardan kırılarak oluşturulan parçalar ofsetlenmiştir [9, 10, 11].

Liu, Yong, Zheng ve Sun ‘ın yaptıkları çalışmada girdi unsurlarının kapalı profil oluşturması istenmemiş ve girdinin “polyline” olduğu varsayılmıştır. Açık eğrilerin ofsetlenmesini de sağlayan bu yöntem, eğri elemanlarının ofsetlenmesi, bu ofsetlemelerin duruma göre budanması veya birleştirilmesi ve bir kırılma algoritmasıyla geçersiz ofset unsurlarının kırılması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır [12].

Bu makalede yapılan çalışmada ise kapalı profili oluşturan unsurların analitik denklemleri kullanılarak profilin ofset unsurları elde edilmiştir. Daha sonra dalma ve kalıntılara neden olan hataları gidermek için geçerli bir ofset unsurunun taşınması gereken ortak

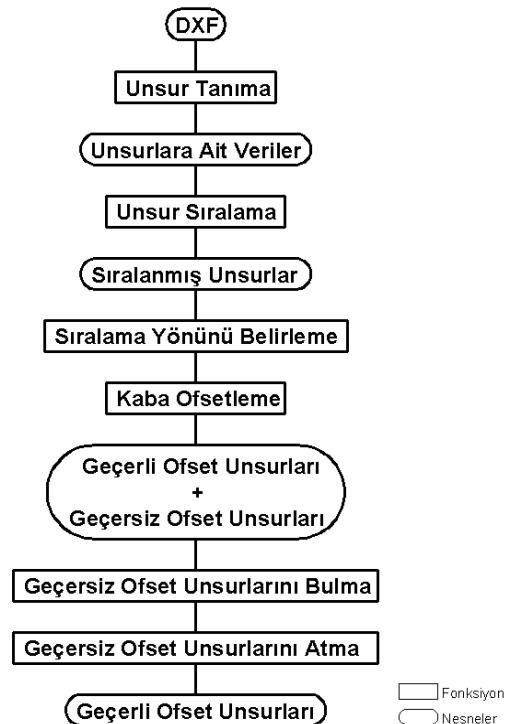
özellikler belirlenmiş ve bu özellikleri taşımayan unsurlar atılarak hatalar giderilmiştir. Geliştirilen bu yöntem ile sunulan diğer çalışmalara göre daha pratik ve kararlı bir hata giderme uygulaması gerçekleştirilmiştir.

2. ÜRÜNE AİT UNSURLARIN BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF ITEMS CONCERNING THE PART)

Bu çalışmada sunulan ofsetleme algoritmasının şematik yapısı Şekil 1’de görülmektedir. Ofset unsurları oluşturulurken ana unsurların analitik denklemleri kullanılmıştır. Birbiriyle kesişen ofset unsurları kırılmak yerine, kesişim noktalarından kırılarak her bir parça ayrı ofset unsuru olarak kabul edilmiştir. Geçersiz ofset kısımlarının atılmasında ise diğer çalışmalardan farklı olarak, geçerli bir ofset unsurunun taşınması gereken özellikler göz önünde tutulmuştur. Belirlenen bu özelliklere göre de tüm ofset unsurları değerlendirilip atılıp atılmamasına karar verilmiştir.

Bu işlemler, analitik yöntemlerle çözüldükten sonra DELPHI® ortamında program haline dönüştürülmüştür. Program, ürüne ait DXF dosyası açıldıktan sonra, kullanıcının girdiği ofset mesafesine göre, ürüne ait ofsetlemeyi hem görsel olarak yapmakta, hem de yeni oluşan şekle ait koordinatları, yeni bir “.txt” dosyasına yazdırmaktadır.

Geliştirilen yöntem altı adımdan oluşmaktadır. İlk olarak DXF dosyası okutturularak alınan unsurlar sıralattırılmaktadır. Daha sonra profili oluşturan unsurların sıralama yönü tayin edilmektedir. Bu



Şekil 1. Ofsetleme Algoritması (Offsetting algorithm)

işlemden sonra kaba ofsetleme yapıp, birbiriyle kesişen ofset unsurları kesişim noktalarından kırılmaktadır. Son olarak, geçersiz ofset kısımlarının atılması suretiyle ofsetleme işlemi tamamlanmaktadır.

Kullanıcının çizdiği kapalı profili oluşturan çizgilere ve yaylara ait verileri alabilmek için birçok CAD/CAM programında ortak bir veri dili haline gelmiş olan, standart DXF dosya yapısı kullanılmıştır.

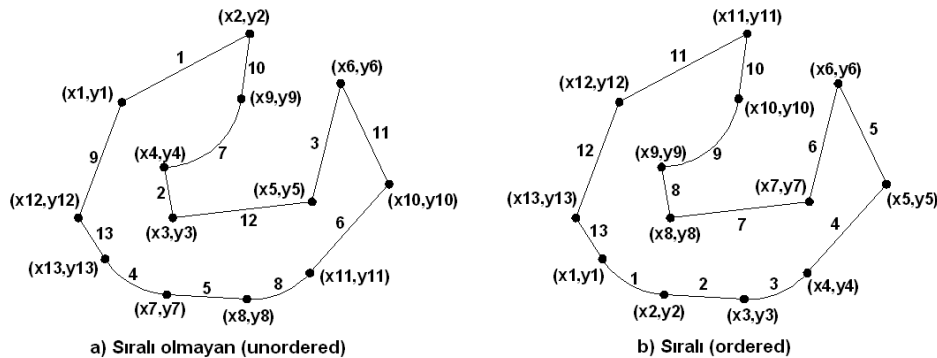
Kullanıcının çizdiği kapalı profile ait verilerin bulunduğu DXF dosyasından, çizgiler için: "AcDbLine" başlığı altında o çizgiye ait başlangıç ve bitiş koordinatları bilgileri; yaylar için: "AcDbCircle" başlığı altında o yaya ait yay merkezi koordinatları, yaya ait çap ve yayın başlangıç ve bitiş açısıyla ilgili bilgiler, ofsetleme işleminde kullanılmak üzere okutturulmuştur.

Kullanıcının kapalı profili çizerken unsurları belirli bir sıra dâhilinde çizmediği varsayılmıştır. Bu nedenle, DXF dosyasından okunan çizgilerin ve yayların, ofsetleme işleminde kullanılabilmesi için kapalı profili oluşturacak şekilde devam eden bir zincir halinde sıralanmaları gerekmektedir. Bu sıralama işleminde sonraki unsur (çizgi ya da yay) bir önceki unsurun bitiş koordinatı ile başlamalıdır. Yani bir unsurun başlangıç koordinatı, kendinden önceki unsurun bitiş koordinatıdır ve bir unsurun bitiş koordinatı, kendinden sonraki unsurun başlangıç koordinatıdır (Şekil 2).

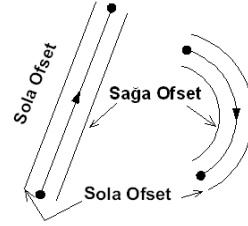
3. UNSURLARIN SIRALAMA YÖNÜNÜN BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF ITEMS DIRECTION)

Şekil 3 ve Şekil 4'te de görüldüğü üzere, kapalı profili oluşturan, saat yönünde sıralanmış unsurların her biri, sağa doğru ofsetlendiğinde kapalı profil içe; sola doğru ofsetlendiğinde ise kapalı profil dışa ofsetlenmiştir. Benzer şekilde, profili oluşturan, saat yönü tersinde sıralanmış unsurların her biri, sağa doğru ofsetlendiğinde kapalı profil dışa; sola doğru ofsetlendiğinde ise kapalı profil içe ofsetlenmiştir.

Ofsetleme yönünün içe ya da dışa doğru olduğunun



Şekil 2. Sıralı olmayan ve sıralanmış ofset unsurları (Unordered and ordered offset items)



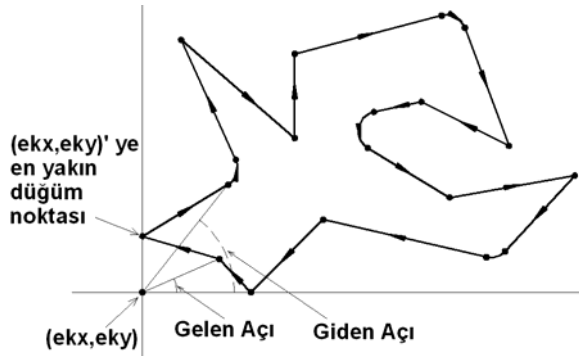
Şekil 3. Sağa ve sola ofset (Right offset and left offset)

	Saatın tersi yönünde sıralanmış	Saat yönünde sıralanmış
Ünser		
Sağa ofset		
Sola ofset		

Şekil 4. Saat yönünde ve tersinde ofsetler (Clockwise and counterclockwise offsetting)

ayını için, kapalı profili oluşturan unsurların sıralama yönünün belirlenmesi gerekmektedir. Sıralama yönünün belirlenmesi işleminde öncelikle profilin en küçük x (ekx) ve en küçük y (eky) koordinat değerleri bulunur (Şekil 5). Daha sonra (ekx, eky) koordinatına iki unsurun birleştiği en yakın düğüm noktası bulunur.

Bu düğüm noktasından başlayan unsurun bitiş noktası ile (ekx, eky) noktasını birleştiren çizginin yatayla yaptığı açı, giden açı; ve yine bu düğüm noktasında biten unsurun başlangıç noktası ile (ekx, eky) noktasını birleştiren çizginin yatayla yaptığı açı, gelen açı olarak kabul edildiğinde; gelen açı, giden açıdan küçük ise sıralama yönü saat yönü istikametinde, gelen açı, giden açıdan büyük ise sıralama yönü saat yönü tersi istikametinde olduğu belirlenmiştir.



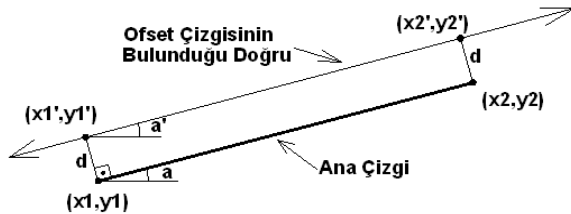
Şekil 5. Sıralama yönünün belirlenmesi (Determination of sorting direction)

4. KABA OFSETLEME (ROUGH OFFSETTING)

Kapalı profilli oluşturan unsurların ofsetlenmesinde, çizgilerin başlangıç ve bitiş koordinatları ve boyları değişirken eğimleri sabit kalmaktadır. Yayların ise çapları, başlangıç ve bitiş koordinatları değişirken, merkez koordinatları sabit kalmaktadır. Çizgilerin ve yayların ofsetleme işlemi birbirinden farklıdır.

4.1. Çizgilerin Ofsetlenmesi (Offsetting of Lines)

Bir ofset çizgisi, ana çizgi ile aynı eğimde olan ve ana çizginin ofsetleme mesafesi kadar ötesindeki doğru üzerinde bulunan, ana çizginin öncesindeki ve sonrasındaki unsurların ofsetleri ile sınırlandırılmış olan çizgidir. Ofset çizgisinin bulunduğu doğrultu bulunurken öncelikle ana çizginin başlangıç ve bitiş koordinatları ofsetleme doğrultusunda ve ofsetleme mesafesi kadar ötelenir (Şekil 6).



Şekil 6. Çizgilerin ofsetlenmesi (Offsetting of lines)

$$x1' = x1 + \cos(90+a).d \quad (1)$$

$$y1' = y1 + \sin(90+a).d \quad (2)$$

$$x2' = x2 + \cos(90+a).d \quad (3)$$

$$y2' = y2 + \sin(90+a).d \quad (4)$$

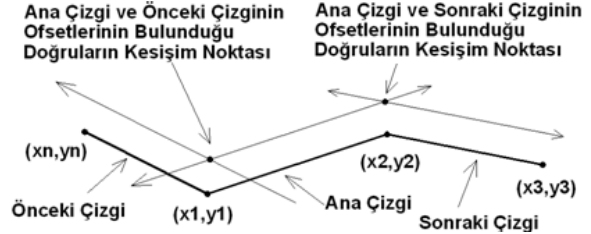
Ana çizginin bulunduğu doğrunun analitik denklemi:

$$y-y1 = [(y2-y1)/(x2-x1)](x-x1) \quad (5)$$

iken ofset çizgisinin bulunduğu doğrunun analitik denklemi:

$$y-y1' = [(y2'-y1')/(x2'-x1')](x-x1') \quad (6)$$

bulunur. Ofset çizgisinin başlangıç koordinatı, ana çizgiden önceki unsur çizgi ise; ana çizginin ofsetinin bulunduğu doğru ile önceki çizginin ofsetinin bulunduğu doğrunun kesişim koordinatıdır ve bu koordinat doğru denklemlerinin ortak çözümü ile bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Ofset doğrularının kesişim noktaları (Intersection point of offsetting lines)

Başlangıç koordinatı, ana çizginin ofsetinin bulunduğu doğrunun denklemi olan Eşitlik 6 ile önceki çizginin ofsetinin bulunduğu doğrunun denklemi olan

$$y-y3' = [(y4'-y3')/(x4'-x3')].(x-x3') \quad (7)$$

Eşitlik 7'nin ortak çözümü ile bulunur. Bu eşitliklerin ortak çözümünden;

$$x = \frac{[(y2'-y1')/(x2'-x1')] \cdot x1 - [(y4'-y3')/(x4'-x3')] \cdot x3' + y3'-y1'}{[(y2'-y1')/(x2'-x1')] - [(y4'-y3')/(x4'-x3')]} \quad (8)$$

$$y = [(y2'-y1')/(x2'-x1')].(x-x1') + y1' \quad (9)$$

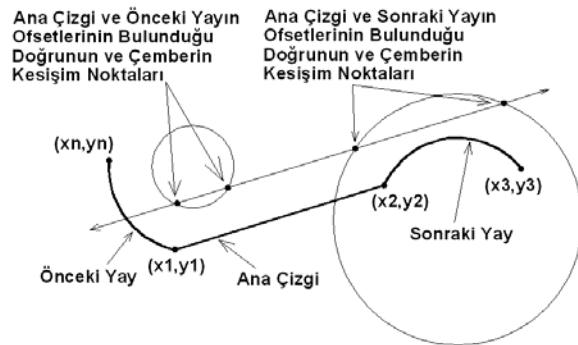
ya da

$$y = [(y4'-y3')/(x4'-x3')].(x-x3') + y3' \quad (10)$$

elde edilir.

Ofset çizgisinin başlangıç koordinatı, ana çizgiden önceki unsur yay ise; ana çizginin ofsetinin bulunduğu doğru ile yayın ofsetinin bulunduğu çemberin kesişim noktası hesaplanarak bulunur (Şekil 8).

Ancak, ana çizginin ofsetinin bulunduğu doğru, yayın ofsetinin bulunduğu çemberi iki noktada kesebileceğinden doğru denklemi ile çemberin denkleminin



Şekil 8. Ofsetlerinin bulunduğu doğru ve çemberlerin kesişimi (Intersection of circle and lines that determines offsets)

iki elemanlı çözüm kümesi olacaktır. Bu çözümlerden hangisinin kullanılacağı bilgisi ise ana çizgi ile kendisinden önceki yayın, hangi noktada kesiştiği durumundan çıkarılacaktır. Ana çizginin bulunduğu doğruyla yayın bulunduğu çemberin denklemlerinin ortak çözümünde; diskriminant değeri pozitif olarak kullanıldı ise ofset denklemlerinin çözümünde de pozitif olarak, diskriminant değeri negatif olarak kullanıldı ise ofset denklemlerinin çözümünde de negatif olarak kullanılacaktır.

Ana çizginin ofsetinin bulunduğu doğrunun denklemi olan Eşitlik 6 ile

$$(y2'-y1')/(x2'-x1')=m \quad (11)$$

olmak üzere; yayın ofsetinin bulunduğu (a,b) merkezli, r' yarıçaplı çemberin denklemi olan

$$(x-a)^2+(y-b)^2=r'^2 \quad (12)$$

Eşitlik 12'nin ortak çözümünden;

$$x^2.(1+m^2)+x.(-2a+2m.(-m.x1'+y1'-b))+ (a^2+(-m.x1'+y1'-b)^2-r'^2)=0 \quad (13)$$

ikinci dereceden bir bilinmeyenli denklemi elde edilir.

$$A=(1+m^2) \quad (14)$$

$$B=(-2a+2m.(-m.x1'+y1'-b)) \quad (15)$$

$$C=(a^2+(-m.x1'+y1'-b)^2-r'^2) \quad (16)$$

kabul edilirse;

$$x=(-B+(B^2-4.A.C)^{1/2})/2.A \quad (17)$$

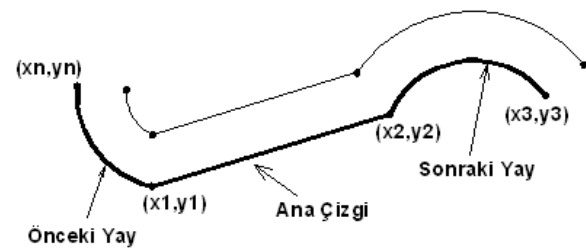
veya

$$x=(-B-(B^2-4.A.C)^{1/2})/2.A \quad (18)$$

ve

$$y'=[(y2'-y1')/(x2'-x1')].(x-x1')+y1' \quad (19)$$

olur. Bu ortak çözüm ile ofsetlenmiş yeni unsurlar belirlenmiş olur (Şekil 9).



Şekil 9. Çizgi ve yayların ofsetlenmesi (Offsetting of lines and arcs)

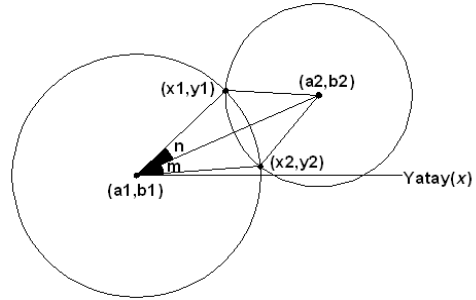
4.2. Yayların Ofsetlenmesi (Offsetting of Arcs)

Bir ofset yayı, ana yay ile aynı merkeze sahip, ana yayın ofset mesafesi kadar ötesinde bulunan çember üzerinde yer alan, ana yayın öncesindeki ve sonrasındaki unsurların ofsetleri ile sınırlanmış olan yaydır. Ofset yayının bulunduğu çember, ana yay ile aynı merkez koordinatında ve yarıçapı, içe doğru ofsetleniyorsa ana yayın yarıçapından ofset mesafesi kadar küçük, dışa ofsetleniyorsa ana yayın yarıçapından ofset mesafesi kadar büyüktür. Ana yayın ofseti bu çember üzerinde yer alacaktır. Başlangıç ve bitiş koordinatları ise kendisinden önceki ve sonraki unsurların ofsetleri ile bu çemberin kesişim noktaları ile hesaplanacaktır.

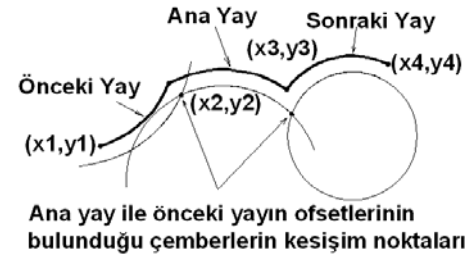
Ofset yayının başlangıç koordinatı, ana yaydan önceki unsur çizgi ise; ana yayın ofsetinin bulunduğu çemberin denklemi ile önceki çizginin ofsetinin bulunduğu doğrunun denkleminin ortak çözümü ile hesaplanmaktadır (Şekil 8 ve Şekil 9).

Ofset yayının başlangıç koordinatı, ana yaydan önceki unsur yay ise; ana yayın ofsetinin bulunduğu çemberin denklemi ile önceki yayın ofsetinin bulunduğu çemberin kesişim noktalarının bulunması ile hesaplanmaktadır (Şekil 10-12).

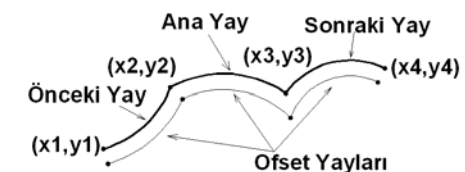
$$r1=((y1-b1)^2+(x1-a1)^2)^{1/2} \quad (20)$$



Şekil 10. İki çemberin kesişimi (Intersection of two circles)



Şekil 11. Ofset çemberlerinin kesişim noktaları (Intersection points of offset circles)



Şekil 12. Yayların ofsetleri (Offsetting of arcs)

$$r2=((y1-b2)^2+(x1-a2)^2)^{1/2} \quad (21)$$

$$k=((b2-b1)^2+(a2-a1)^2)^{1/2} \quad (22)$$

cosinüs teoreminden

$$n=\text{Arcos}((r1^2+k^2-r2^2)/(2.r1.k)) \quad (23)$$

bulunur.

$$x1=a1+\text{Cos}(m+n).r1 \quad (24)$$

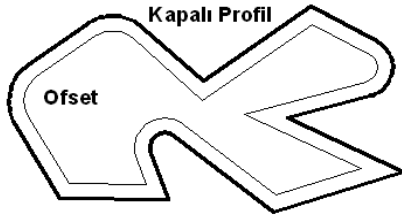
$$y1=b1+\text{Sin}(m+n).r1 \quad (25)$$

$$x2=a1+\text{Cos}(m-n).r1 \quad (26)$$

$$y2=b1+\text{Sin}(m-n).r1 - \quad (27)$$

olur.

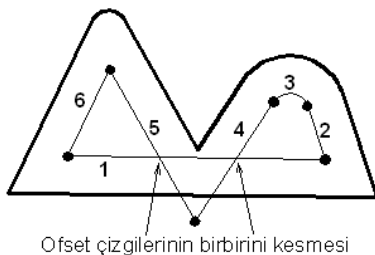
Şekil 13'te görüldüğü gibi, kapalı profili oluşturan unsurların ofsetlerinin, ayrı ayrı bulunmasıyla kapalı profil tamamen ofsetlenmiş olur.



Şekil 13. Ofsetlenerek elde edilen kapalı profil (Closed profile obtained by the offsetting)

5. OFSET ÇİZGİLERİNİN VE OFSET YAYLARININ KESİŞİM NOKTALARINDAN KIRILMASI (TRIMMING FROM INTERSECTION POINTS OF OFFSET LINES AND ARCS)

Kapalı profil ofsetlendiğinde ofset çizgileri ve ofset yayları, profilin şekline ve ofsetleme mesafesine bağlı olarak birbirlerini kesmektedir ve bu kesişimlerden dolayı istenmeyen ofset kısımları oluşmaktadır (Şekil 14). Ofsetlemede istenmeyen kısımları atabilmek için bir kırpma mantığı geliştirilmiştir. Kırpma işlemine hazırlık olarak ofset çizgilerinin ve ofset yaylarının kesişim noktalarından kırılması gerekmektedir. Böylece istenmeyen kısımlar ayrı bir unsur haline gelmiş olacak ve atılması kolaylaşacaktır. Burada, çizgilerin ve yayların kırılması için farklı prosedürler geliştirilmiştir.



Şekil 14. Ofset unsurlarının kesişmesi (Intersection of offsetting items)

5.1. Çizgilerin Kırılması (Trimming of Lines)

Ofset çizgileri kesişim noktalarından kırılırken diğer tüm ofset unsurlarıyla tek tek kesişip kesişmediği ve kesişiyorsa kesişim noktasının koordinatı bulunur. Bunun için kırılacak ofset çizgisinin Eşitlik 7'deki doğru denklemi ile diğer tüm ofset unsurlarının denklemlerinin (çizgiler için Eşitlik 7'deki doğru denklemi, yaylar için Eşitlik 12'deki çember denklemi) ortak çözümü olan Eşitlik 8 ve Eşitlik 17'deki denklemler kullanılır. Bu iki denklemin çözüm kümesi boş küme değilse iki unsur kesişiyor demektir. Ancak kesişim noktasının başlangıç ve bitiş noktaları aralığında olup olmadıkları kontrol edilir. Kesişim noktası kırılacak çizginin başlangıç ve bitiş koordinatları aralığında ise çizgi o noktada kırılacak demektir. Kırılacak ofset çizgisi üzerindeki kesişim noktaları ofset çizgisinin başlangıç noktasına olan uzaklıklarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanır. Kesişim sayısından bir fazla sayıda çizgi oluşacak şekilde, başlangıç noktasından başlayıp en yakın kesişim noktasında biten, en yakın kesişim noktasından başlayıp sonraki en yakın kesişim noktasında biten ve en sonunda da en uzak kesişim noktasından başlayıp bitiş noktasında biten biçimdeki yeni çizgiler oluşturulur (Şekil 15).

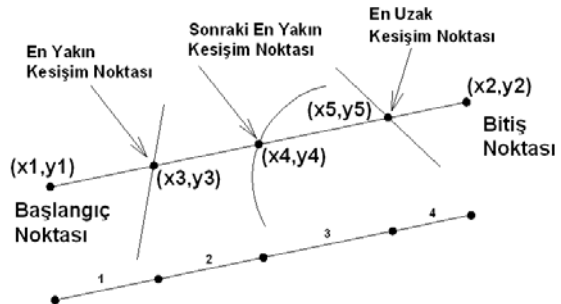
5.2. Yayların Kırılması (Trimming of Arcs)

Yayların kırılmasında çizgilerin kırılmasından farklı olarak kesişim noktaları başlangıç noktalarına açılacak uzaklıklarına göre küçükten büyüğe doğru sıralanırlar (Şekil 16).

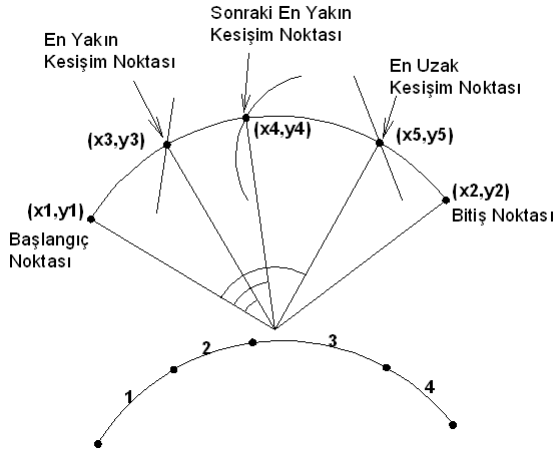
Tüm ofset unsurlarının kesişim noktalarından kırılmasıyla ofseti kesişim noktalarından kırılmış profil elde edilir. Bu aşamadan sonra ise, fazlalık olan çizgilerin iptal edilmesi gerekmektedir (Şekil 17).

6. GEÇERSİZ OFSET ÇİZGİLERİNİN ATILMASI (THROW AWAY INVALID OFFSETTING LINES)

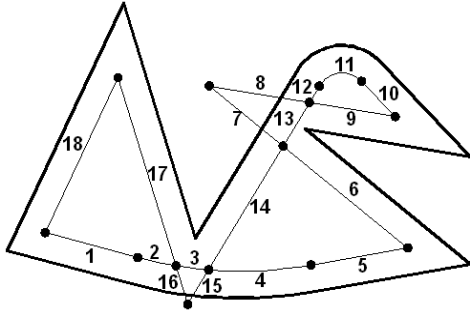
Kapalı profilin ofsetindeki geçersiz ofset kısımlarının doğru olarak atılabilmesi için öncelikle geçerli olan ofset unsurlarının ortak özellikleri belirlenmiştir. Bu özelliklerden herhangi birini ihlal eden ofset unsurları tespit edilip atılarak kırpma işlemi gerçekleştirilmiştir. Geçerli ofset unsurlarının ortak özellikleri:



Şekil 15. Ofset çizgilerinin kesişim noktalarından kırılması (Trimming from intersection point of offset lines)

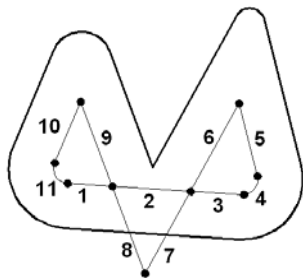


Şekil 16. Ofset yaylarının kesişim noktalarından kırılması (Trimming from intersection points of offset arcs)

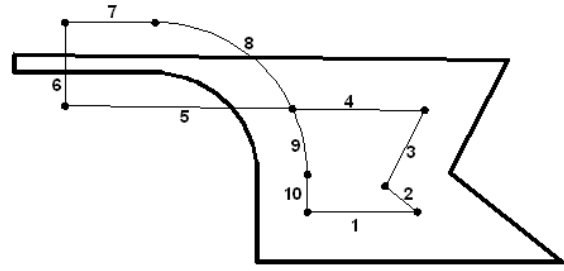


Şekil 17. Ofseti kesişim noktalarından kırılmış kapalı profil (Trimmed close profile from intersection point of offsetting)

- Ofset çizgileri ve ofset yayları kapalı profili oluşturan ana unsurları kesmezler. Herhangi bir ana unsur kesen bütün ofset unsurları atılır (Şekil 18'de 7. ve 8. Ofset unsurları).
- Ofset unsurları ana unsurlara ofset mesafesinden daha yakın olamazlar. Herhangi bir ana unsura ofset mesafesinden daha yakın olan bütün ofset unsurları atılır (Şekil 18'de 2. Ofset unsuru).
- Ofsetleme, içe yapılıyorsa ofsetleme unsurlarının başlangıç ve bitiş noktaları kapalı profil içinde; ofsetleme, dışa yapılıyorsa ofset unsurlarının başlangıç ve bitiş noktaları kapalı profil dışındadır. Başlangıç veya bitiş noktalarından biri veya ikisi ofsetleme yönünün tersinde kalan ofset unsurları atılır (Şekil 18'de 7. ve 8. Ofset unsurları, Şekil 19 da 5., 6., 7. ve 8. Ofset unsurları).



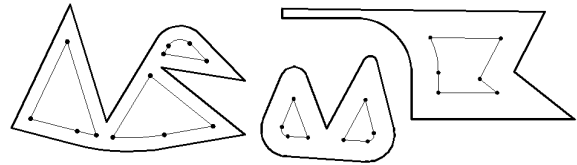
Şekil 18. İçe doğru geçerli ve geçersiz ofset unsurları (Valid and invalid inner offset items)



Şekil 19. Geçerli ve geçersiz ofset unsurları (Valid and invalid outer offset items)

- Yukarıda belirtilen geçersiz ofset unsurları atıldıktan sonra başlangıç ve bitiş noktalarında ayrı ayrı kendisi de dâhil olmak üzere çift sayıda unsur vardır. Yani bir ofset unsurunun başlangıç noktasını, başlangıç noktası veya bitiş noktası olarak kabul eden ofset unsuru sayısı tek ise ve bu ofset unsurunun bitiş noktasını, başlangıç noktası veya bitiş noktası olarak kabul eden ofset unsuru sayısı da tek ise bu ofset unsuru atılır (Şekil 18'de 7. ve 8. Ofset unsurları atıldıktan sonra 2. Ofset unsuru; Şekil 17'de 7., 8., 15., 16. Ofset unsurları atıldıktan sonra 3. ve 13. Ofset unsurları).

Belirlenen bu dört ortak özellikten her hangi birisini ihlal eden unsurların atılmasıyla, sadece geçerli ofset unsurlarının bulunduğu ofsetleme sonucu elde edilmiştir (Şekil 20).

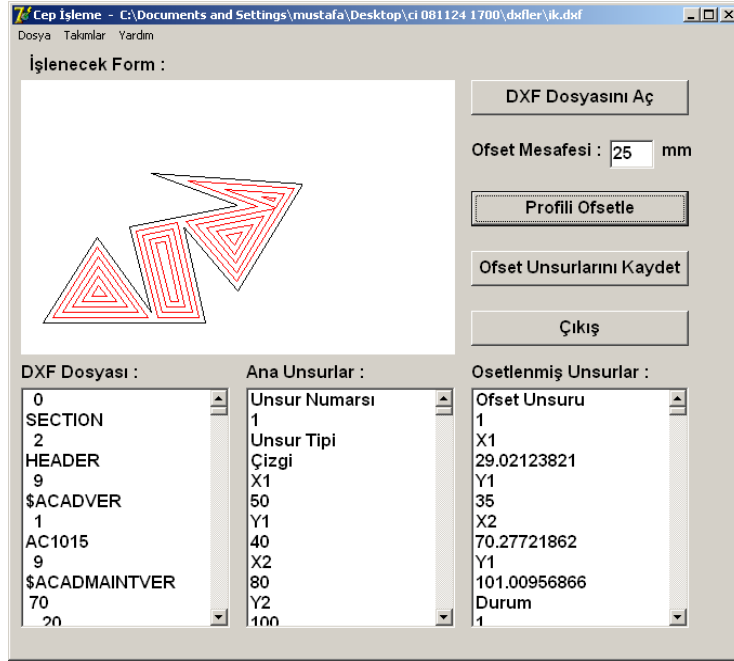


Şekil 20. Geçersiz ofset unsurlarının atılmasından sonra geriye kalan geçerli ofset unsurları (Remaining valid offset items after throw away invalid offset items)

Algoritmanın doğruluğu sınamak için AutoCAD 2004 ortamında işlenecek bir cebe ait profil çizilerek "dxf" dosyası olarak kaydedilmiştir. Geliştirilen algoritma ile Delphi ortamında bir program hazırlanmıştır. Hazırlanan program DXF dosyasını okuyup ofsetlemeyi yaptıktan sonra ofset çizgilerine ait verileri "txt" dosyası halinde kaydetmekte ve ofset çizgilerini görsel olarak sunmaktadır. Şekil 21'de görüldüğü gibi algoritma bir bilgisayar programı haline getirilmiştir ve algoritmanın ofsetleme işlemini, hatasız olarak yerine getirdiği kanıtlanmıştır.

7. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULT AND DISCUSSION)

CNC takım yollarının türetilmesinde ofsetleme işleminin oynadığı rol göz önüne alındığında ofsetlerdeki geçersiz unsurların işleme esnasında dalmalara ve istenmeyen kalıntılara neden olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada sunulan yöntem de literatürdeki diğer çalışmalarda olduğu gibi ofsetleme işlemini hatasız



Şekil 21. Delphi ortamında hazırlanan program da ofsetleme (Offsetting on program developed by Dephi)

olarak gerçekleştirmektedir. Ancak, geliştirilen hata ayıklama yöntemi ofsetleme probleminde yeni bir bakış açısı getirmiştir. Bu çalışmada ofsetleme hatalarını giderilmesi matematiksel denklemlerden farklı olarak daha pratik bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni yöntem literatürdeki diğer yöntemlere nazaran daha pratik ve uygulanabilir bir modeldir.

Bu çalışmada diğerlerinden farklı olarak parametrik denklemler ya da vektörler yerine analitik denklemler kullanılmıştır. Literatürde sunulan bazı çalışmalarda yay içeren profiller göz ardı edilirken [1] gerçekleştirilen bu çalışmada sunulan yöntem, yay içeren profilleri de ofsetleyebilmektedir. Rohmfeld'in önerdiği yöntem ofsetlemeyle oluşan teğet noktalarında yanlıya düşebilmektedir [8]. Burada sunulan yöntemde ki hata giderme algoritması teğet noktalarında hataları başarıyla giderebilmektedir.

Voronoi eğrileri kullanılarak gerçekleştirilen uygulamalarda ofsetleme işlemi dışa doğru yapılamamaktadır [9]. Sunduğumuz çalışma ise içi ve dış yönlü ofsetlemeyi gerçekleştirebilmektedir. Voronoi eğrilerini kullanan yöntemler de dahil olmak üzere literatürde önerilen bir çok yöntem profili oluşturan unsurların parametrik denklemleri olan eğrilere ihtiyaç duymaktadır. İşlenecek bir cep profili oluşturulurken parametrik eğriler yerine daha kolay olduğu için çizgi ve yay gibi unsurlardan oluştuğu dikkate alınarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bazı yöntemlerde de olduğu gibi kapalı profili oluşturan unsurların "polyline" ya da sıralanmış olarak üretilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

07/2009-19 numaralı proje kapsamında destek ve katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. You, C., Sheen, B., Tzu-Kuan Lin, T., "Robust Spiral Tool-Path Generation for Arbitrary Pockets", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 17:181-188, 2001.
2. Lai, Y., Wu, J., Hung, J., Chen, J., "A simple method for invalid loops removal of planar offset curves", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27:1153-1162, 2006.
3. Choi, B., Park, S., "A pair-wise offset algorithm for 2D point-sequence curve", Computer-Aided Design 31, 735-745, 1999.
4. Tiller, W., Hanson, E., "Offsets of Two-Dimensional Profiles", Structural Dynamics Research Corporation, 1984.
5. Park, S., Choi, B., "Uncut free pocketing toolpaths generation using pair-wise offset algorithm", Computer-Aided Design, 33, 739-746, 2001.
6. Yan, S., Shuilai, W., Shuiguang, T., "Uneven offset method of NC tool path generation for free-form pocket machining", Computers in Industry, 43, 97-103, 2000.
7. Lee, E., "Contour offset approach to spiral toolpath generation with constant scallop height", Computer-Aided Design, 35, 511-518, 2003
8. Rohmfeld, R., "IGB-offset for plane curves-loop removal by scanning of interval sequences", Computer Aided Geometric Design, 15, 339-375, 1998.

9. Jeong, J., Kim, K., “Generating Tool Paths for Free-Form Pocket Machining Using z-Buffer-Based Voronoi Diagrams”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15:182–187, 1999.
10. Held, M., ”Voronoi diagrams and offset curves of curvilinear polygons ”, *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 4, pp. 287-300, 1998
11. Jeong, J., Kim, K., “Generation of Tool Paths for Machining Free-Form Pockets with Islands Using Distance Maps”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15:311–316, 1999.
12. Liu, X., Yong, J., Zheng, G., Sun, J., “An offset algorithm for polyline curves”, *Computers in Industry* 58, 240–254, 2007.

