

Noktasal Takim Yollarinin Dairesel Interpolasyona Dönüştürülmesi

Derleme : Turgay Mamur
Anka Mühendislik ve Makina

Bu makalede, özellikle CNC takım tezgahları ile kalıp parçalarının işlenmesi sırasında karşılaşılan bir takım problemler ve bu problemlere ilişkin bir alternatif olarak geliştirilmiş yazılım hakkında bahsedilecektir.

Günümüzde mevcut olan ve çoğu atölyeler tarafından kullanılan CAM programları finis operasyonuna ait NC kod çıktısını genellikle doğrusal interpolasyon G01 koduna müteakip koordinat değerlerinin verilmesi suretiyle elde edilen NC program dosyaları şeklinde vermektedir. Bu şekilde bir kontrol yöntemini noktadan-noktaya kontur işleme veya kısaca nokta-nokta kontur hareketi olarak adlandırırız. Şekil 1 de böyle bir kod çıktısı olarak alınmış ve CNC tezgahca işlenmeye hazır bir program örneği gösterilmektedir.

```
%  
00001  
G91G28X0Y0Z0  
G90G92X403.64Y203.02Z349.5  
G0X0Y0Z0  
G90  
G92G00X0Y0Z100.00  
X188.8751Y-5.5502  
G00X188.8751Y-5.5502M03S1300  
Z9.8415  
Z9.8415  
G01X188.8751Y-5.5502Z-34.2156F20.0  
Y104.4084F100.0  
X188.3751  
Y-5.5502  
X187.8751  
Y104.4084  
....  
....  
X-3.1249  
Y104.4084  
G00Z9.8415  
Z9.8415  
X-3.1249  
G00Z100.00  
G00X0Y0  
M09  
M05  
M30  
%
```

Şekil 1 nokta-nokta hareket kodlarından oluşan bir program

Şekil 1 deki program örneğinde gösterildiği gibi siradan G01 doğrusal interpolasyon işlemi tatbik edilmiş olan nokta koordinatları kullanılarak bu programın dairesel interpolasyon şeklinde kod çıktısı verecek şekilde düzenlenmesi hem programın boyutunu azaltacak, hem de yüzey işleme operasyonu sırasında işleme yüzeyinin çok daha temiz olarak alınmasına yardımcı olacaktır.

Aşağı yukarı, CNC takım tezgahlarının başlangıcından beri, bu tezgahların herhangi bir eğrisel yüzeyi işleme şekli çok az değişiklik göstermiştir. Normal olarak standart dairesel veya yüksek mertebeden bir interpolasyon (spline, nurbs) rutini ile çok daha verimli olarak tanımlanabilecek herhangi bir işleme formu, çok sayıda noktadan oluşan noktasal takım yolları şeklinde tanımlanma yoluna gidilmiş ve takım yolu hareketleri buna göre noktadan noktaya olan doğrusal interpolasyonlar şeklinde oluşturulmak zorunda kalmıştır. Neticede düzgün hat geçişlerine sahip eğrisel bir yüzey işlenmek istendiği durumda bu yüzey ancak küçük artım birimlerine sahip doğrusal hareketler şeklinde tanımlanmak ve işlenmek mecburiyetinde kalmıştır.

Olaya yüzey geometrisi açısından baktığımızda, kuskusuz ki herhangi bir eğri formu hiç bir zaman küçük artım birimlerine sahip doğrular şeklinde ifade edilemez; fakat konvansiyonel hareket kontrol teknolojisinin doğası neticesi bu yüzey üzerindeki herhangi bir eğrinin CNC hareketinde küçük doğru birimlerinden oluşan doğrular zinciri şeklinde gösterilmesi kaçınılmazdır. Neticede, eğrisel yüzeyleri hem hassas hem de düzgün olarak işlemeyi arzu eden CNC kullanıcılarına çok az bir seçim hakkı tanınmış olmaktadır. CNC kullanıcıları, kullandıkları CAM programının kapasitesine bağlı olarak, herhangi bir eğrisel yüzeyi milyonlarca nokta hareketinden oluşan noktalar zinciri şeklinde işleme dışında, bir başka alternatif ile bırakılmamışlardır. Buna mukabil, CNC teknolojisi bas döndürücü şekilde gelişmiş ve bugünün CNC teknolojisi bu tip programları bir kaç yıl evvelkine oranla daha yüksek hızlarda ve hassasiyette işleme kabiliyetlerine sahip olmuştur.

Tabiki, CNC ve mekanik özellikler bakımından böyle bir CNC tezgaha sahip olmak bir üstünlüktür. Buna rağmen CNC kullanıcıları, sahip oldukları üstün nitelikli tezgahlarıyla hala oldukça yoğun nokta koordinat değerlerinden oluşan programın belirtmiş olduğu noktalardan geçerek istenilen işleme yüzeyini elde edecek NC programları yerine bir başka alternatif aramak zorunda kalmışlardır. Tabiki aynı benzer çözüm arayışı konturların sık olduğu işleme bölgelerinde, takımın işlenen konturu hassas bir şekilde takip ederek işleme operasyonunu yapabilmesi için takım ilerleme değerinin doğru olup olmadığı, veya belirli bölgelerde ilerleme değerini otomatik olarak artırıp diğer bölgelerde ilerleme değerini azaltan programlar konusunda da devam etmektedir. Nokta-nokta NC kod dosyalarından oluşan programlarda karşılaşılan güçlüklerden biri de, NC kod dosyalarının uzun olması dolayısıyla kontrol sisteminin aktarım hızının yetersiz kalması ve neticede sistemin tezgah yapısını kararsızlığa itmesidir. Herhangi bir yüzey nokta-nokta program kodları ile işlenmek zorunda kalındığında, takım ilerleme değerinin en zor işleme bölgesi formuna göre verilmesi, işlenmesi kolay olan işleme bölgelerinde ilerleme değerinin



Meta Cut öncesi 12 kat büyültme

degistirilememesi sebebi ile programın işleme zamanının gereğinden çok daha fazla sürmesi de günümüzün CNC kullanıcılarının çözüm bulması gereken problemlerinin başında gelmektedir. İlerleme değerinin yüzey formuna göre ayarlanamaması durumunda yüzey hassasiyetinde de bozulma kaçınılmazdır. Şekil 2 de işleme yüzeylerine ait örnekler gösterilmektedir.

Buna mukabil, modası geçmiş kontrolleri kullanan CNC takım tezgahlarında dahi netice alınabilecek, nokta-nokta kontur hareketleri dolayısıyla oluşan kısıtlamaları en aza indiren bir çözüm de vardır. Buradaki temel fikir, eğrisel takım yollarının doğrusal nokta-nokta hareketlerden oluşturulması yerine, direkt olarak ardarda gelen dairesel hareketler şeklinde tanımlanmasıdır. Pratikte bu teknik çoğu takım tezgahlarında takım yolunun sadece temel işleme düzlemlerinde



kalmasına yol açarak (X-Y, X-Z, Y-Z) işleme prosesini kısıtlamasına rağmen bu tip bir çözüm, kesme işlemi sırasında tezgaha yaptırılan takım yolu hareketlerinin daha düzgün ve program boyutunun çok daha kısa olmasını sağlamaktadır. Oyuksu işleme operasyonu sırasında, takım yolu hareketlerinin dairesel interpolasyonla yapılması sebebiyle, CNC blok işleme hızı bariyeri aşılmayacağı gibi, programlanan ilerleme değeri tüm parça programı boyunca daha akıllıca ve dinamik bir şekilde ayarlanmış ve işleme zamanı kısalmış olacaktır.

Meta Cut sonrası 12 kat büyütme

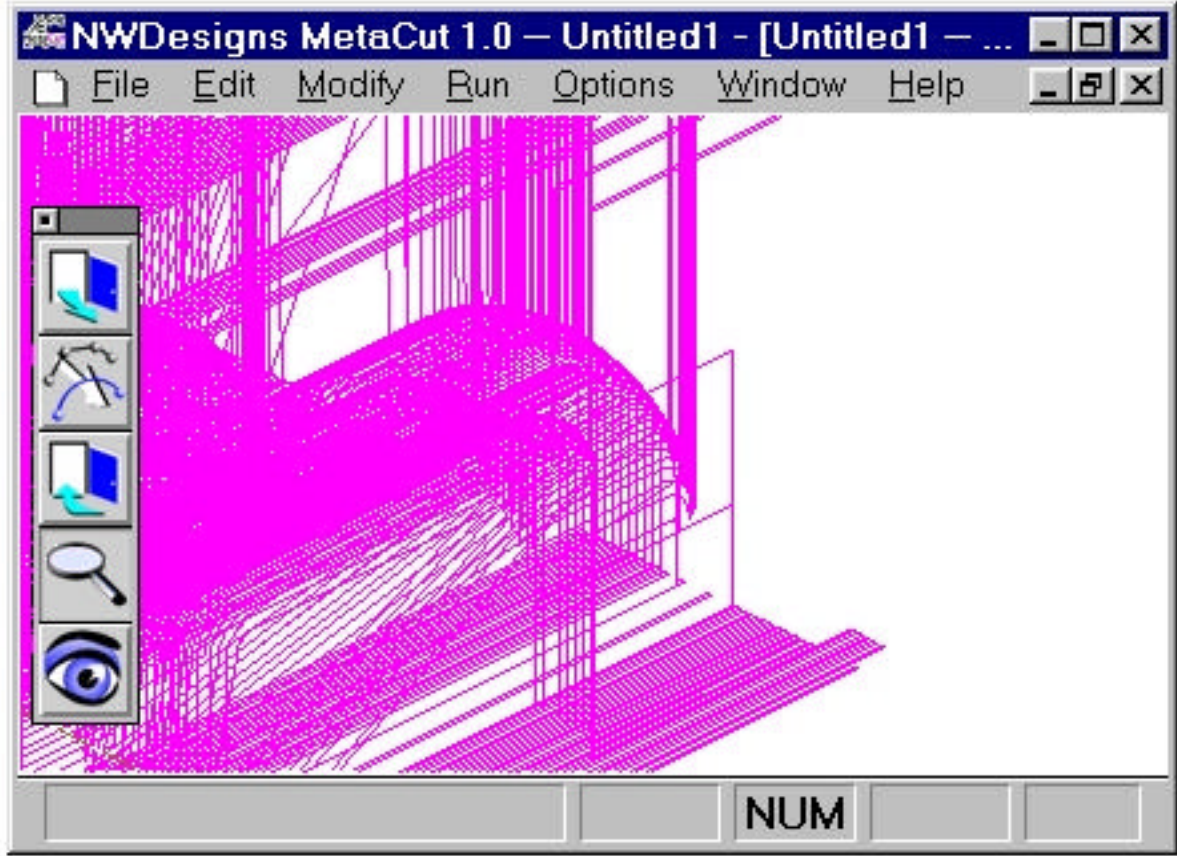
Şekil 2 İşleme yüzeyine ait örnek

Noktalara Filtreleme işlemi tatbik edilmesi

Piyasadaki ciddi CAM programları takım yolu hareketlerini dairesel interpolasyon hareketi yaptıracak şekilde verebilmektedir. Esasen bu programlar temel takım yolu geometrisini bilinen şekilde oluştururlar. Söyleki öncelikli olarak takım yolu çıktısı nokta şeklinde alınır, sonra önceden tanımlanan hassasiyet toleransına göre (nokta-nokta takım yolu çıktısında kullanılan chordal deviation -kiris sapma- benzeri) bu noktalar ardarda gelen değişik yarıçaplarda dairesel hareketler şekline dönüştürülür. Sonra program CNC tarafından ard arda icra edilecek dairesel interpolasyon komutları şeklinde çıktı olarak verilir.

Yay uydurma (dairesele interpolasyon) kabiliyetlerine sahip olmayan CAM programları ile çalışan CNC atölyeleri için çok sayıda CAM sistemi çıktısını okuma kabiliyetine sahip ve sonra bu okunan dosyada işlem yapmak suretiyle yay-uydurma işlemi sonucu dairesel interpolasyon kod çıktısı veren programlar vardır. Böyle bir ürün NWD Meta Cut olarak Nortwood Designs firması tarafından geliştirilen programdır (Tema: Anka Mühendislik), Şekil 3.

Yay uydurma programının nasıl çalıştığına daha detayli baktığımızda, Nortwood Designs başkanı Bill Ellioth, "Program yay uydurma işleminin tatbik edileceği orijinal programdaki noktalardan tamami garanti geçecek şekilde bir yay uydurma işlemi yapmamaktadır. Bunun yerine orijinal parça programı verilerinden oluşan G-kod dosyasındaki noktasal verilerin kullanılması suretiyle kompleks bir matematiksel algoritma bu noktalara tatbik edilmektedir. Neticede elde edilen yeni noktasal değerler kullanılmak suretiyle yeni eğri değerleri elde edilmekte ve elde edilen bu değerler kullanılarak dairesel interpolasyon



Sekil 3 Meta Cut menüsü

Bill Elliioth "çoğu durumlarda, programın eğri uydurma işlemi öncesi kullanılan G-kod dosyasına nazaran, eğri uydurma işlemi tatbik edilmiş olan programın, islenecek olan yüzey geometrisini daha da hassas bir şekilde tanımladığını" ifade etmektedir. Bu işlemin kaynağı, herhangi bir eğrinin eninde sonunda yaylardan oluştuğu gerçeğinden başka bir şey değildir. Eğriler doğruya yakın şekle yaklaştığında veya düz bir yüzey üzerindeki noktalardan interpolasyon yapılması gerekli olduğu durumlarda, programın dairesel interpolasyon yerine direkt olarak doğrusal interpolasyon moduna geçme gibi bir zekaya sahip olması da ayrı bir üstünlüğüdür.

Herhangi bir eğrisel yüzeyden oluşan takım yolu hareketlerinde, dairesel interpolasyon, doğrusal interpolasyona oranla daha geniş bir işleme aralığını simgeleyebilmektedir. Bu sayede sadece doğrusal interpolasyonun tatbik edilmiş olduğu G-kod dosyasına oranla, dairesel interpolasyonun tatbik edilmiş olduğu dosyanın çok daha küçük boyutta olması kaçınılmazdır. Dosya boyutundaki gerçek azalma kuskusuz yüzey yapısına direkt olarak bağlıdır, buna mukabil dairesel interpolasyon hareketine dönüştürülen takım yolu dosyaları, nokta-nokta doğrusal takım yolu hareketlerinden oluşan takım yolu dosyalarına oranla %60...90 daha kısa boyutta olmaktadır.

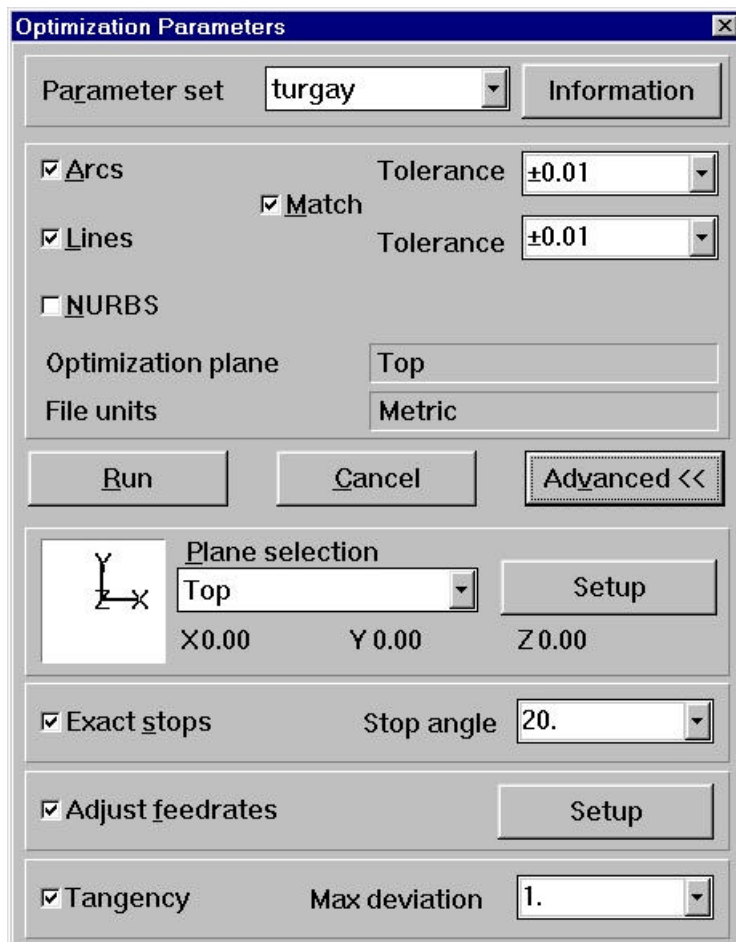
Bir başka ilginç nokta da, takım yolunun nokta-nokta tanımlanması sırasında ne kadar fazla nokta kullanılıyorsa, aynı takım yolunu dairesel interpolasyon şeklinde tanımlamak için daha az sayıda bir takım yoluna gereksinim duyulmasıdır. Daha basit terimlerle, eğer nokta değerleri kaba bir şekilde verilmiş ise, sistem gerçek geometrinin nerede olduğu konusunda daha muhafazakar

kabuller yapacak, ve buna ek olarak takım yolunu tanımlamak için daha fazla sayıda eleman kullanacaktır. Eger nokta verileri yeterince varsa, bu kabullerin çok azı gereklidir ve hassasiyet konusunda herhangi bir tereddüte meyil vermeden sistem her bir yay hareketini rahatlıkla gerçekleştirebilecektir. Neticede hem takım yolu dosyası daha kısa hem de takım yolu daha hassas olacaktır. Bu amaçla kullanılacak iyi bir yaklaşım, noktasal takım yolu elde etmek için kullanılan chordal deviation (kiris sapması) değerinin, dairesel interpolasyonun tatbik edileceği program çıktısı için daha da düşük tutulması ve dogrusal interpolasyon kodunun buna göre çıkarılmasıdır. Her ne kadar chordal deviation -kiris sapması- değerinin küçük tutulması, takım yolu dosyasının çıkarılması sırasında CAM programının daha fazla zaman harcamasını gerekli kilsa da neticede alınacak olan sonuçlar bakımından bizi kazançlı kılar.

İsleme programı boyutu ne kadar kısa olursa, programın belleğe sigmaması dolayısı ile bir başka ortamdan tezgaha transfer edilmesi (DNC) veya ek bellek ihtiyaçları gibi hadiselerle daha az ihtiyaç duyulur. Programın DNC modu kullanılarak drip-feed -damla gönderme- yöntemi ile CNC tezgahca işlenmesi, özellikle eski tip kontrollerde programın gönderme hızının yetersiz kalması dolayısı ile kontur işleme operasyonu sırasında istenilen ilerleme değerlerine ulaşamamasına yol açar. Çoğu CNC atölyeleri sırf bu sebep dolayısı ile işleme operasyonunda kullanılacak olan ilerleme değerini en kötü şartlara göre düzenlemek zorunda kalmaktadır. Söyleki; noktaların çok yoğun ve kısa artım birimleri ile verildiği kontur bölgelerindeki ilerleme değerinin çok düşük tutulması gerekmektedir. Programcılar bu ilerleme değerine göre tüm programın işleme ilerlemesi olarak bir ilerleme değeri verir ki, bu programın diğer kısımlarında boşu boşuna zaman kaybına yol açmaktan ve yüzey hassasiyetinin istenilen kalitede alınamamasından başka bir şey değildir. Dairesel interpolasyon ile, CNC tezgahta ulaşılabilir ilerleme değerinin en üst değeri rahatlıkla kullanılabilir. Bu sayede oyuklar daha hızlı işlenebilir ve daha iyi yüzey kalitesine rahatlıkla ulaşılabilir.

İlerleme değerleri arttıkça, işleme hassasiyeti ile ilgili handikaplarla karşılaşırız.. Yeni yüksek performanslı CNC'ler mükemmel look-ahead -sezinleme- kabiliyetlerine sahiptir. Look ahead fonksiyonu sayesinde CNC tezgahın kontur işleme operasyonu sırasında ilerleme değeri otomatik olarak ayarlanarak, yüksek ilerleme değerleri ile hassas bir şekilde yüzey işleme operasyonu yapılabilir. Bazı modası geçmiş kontrol tiplerinde ilerleme değeri yüksek tutulduğu takdirde ve/veya küçük artım birimleri ile CNC tezgah işleme operasyonuna tabi tutulduğunda, CNC kontrol sistemi programlanan bu takım yolunu takip edememekte ve istenilen takım yolundan sapmalar hatta parça yüzeyine dalmalar meydana gelmektedir. İlerleme değerinin yüksek tutulabilmesi için yüzey işleme operasyonu ile elde edilen hareket kodları arasındaki artım değeri çok önemlidir. Örneğin Fanuc OMC kontrolde 0.02 artım birimleri ile dogrusal interpolasyonunun hassas bir şekilde yapılabilmesi için 300 mm/dak gibi düşük bir ilerleme değeri ile takım yolu hareketinin yaptırılması gereklidir. Aynı kontrol sisteminde artım miktarı 0.05 mm şeklinde verildiği takdirde ulaşılacak olan azami değer 750 mm/dak dir. Artım değeri 0.1 mm gibi bir değerde tutulduğu takdirde ilerleme değeri 1500 mm/dak değerine kadar çıkarılabilir. Dairesel interpolasyonun tatbik edildiği program bloklarında artım değeri büyük olduğundan dolayı; örneğin 0.5 mm artım değerine sahip bir dairesel interpolasyon bloğunda Fanuc OMC kontrol için 7500 mm/dak ilerleme değerine kadar çıkılabilmektedir. NC program kodlarının noktasal takım yolları şeklinde verildiği durumlarda, bazı programcılar, programın değişik kısımlarında ilerleme değerini manual olarak değiştirme yoluna gitme eğilimindedirler; fakat kalıp ve takım işleme operasyonlarında kullanılan büyük boyuttaki takım yolu dosyalarıyla CNC tezgah çalıştığı durumda, bu yaklaşım ne yazık ki pratik olmamaktadır. Daha da kötüsü, herhangi bir işleme rutinini optimize etmek isteyen operatörler, operatör panelinde bulunan ilerleme değiştirme anahtarı ile oynamak suretiyle gerekli gördükleri kısımlarda ilerlemeyi artırıp azaltma yoluna gitmektedirler.

Dairesel interpolasyonun dogasi geregi, CNC kontrol sistemi ilerlemeyi dinamik olarak düzenlemek gibi mükemmel bir kabiliyete sahip olmaktadır. Nortwood Designs firmasinin Meta Cut yazilimi, herhangi bir yarıçap degeri için tezgahin kabul edebilecegi azami ilerleme degerinin program içinde girilmesine imkan tanımaktadır. Program herhangi bir yay için azami ilerleme degerininin, programlanan ilerleme degerinden az oldugunu gördüğünde, otomatik olarak ilerleme degerini düşük degere ayarlama gibi bir kabiliyete sahiptir. Neticede takım yolu düzlesmeye basladigi zaman, ilerleme degeri tekrar azami degerine program tarafından ayarlanmaktadır. Programin karsilasabilecegi tüm radyus degerlerine ait olacak sekilde ilerleme degerlerini tesbit etmek maksadiyla, belirlenen yarıçap degerleri için tezgahin kabul edebilecegi azami ilerleme degeri Meta Cut programina girilir. Bu amaçla belirli araliklardaki radyus degerlerinin islenmesi suretiyle elde edilen azami ilerleme degerleri Meta Cut programina bir veri tabani olarak kaydedilir. Kaydedilen bu degerler kullanılarak Meta Cut, karsilasabilecegi diger radyus degerleri için egri uydurma islemi tatbik eder ve en uygun ilerleme degeri bulunur, Sekil 4.



Sekil 4 Meta Cut filtreleme opsiyonlari.

En uygun azami ilerleme egrisini tesbit etmek için, Bill Elliioth basit bir test önermektedir. "Takim tezgahinda, herhangi bir test parçasına 25 mm yarıçapli bir dairese hareket ile düşük hızda (50 mm/dak) bir isleme yaptirin. Takim ayni takım yolu üzerinde gidecek sekilde program tekrarlandigi sirada ilerleme degerini yavasca artirin ve parça üzerindeki isleme yüzeyini ve sesi gözlemleyin. Takimin islenen takım yolu üzerinde hareket halinde iken parçaya dalma yaptigi andaki ilerleme degerini not alin, takimin parçaya dalmasi CNC tezgahin artik bu ilerleme degeri ile takım yolu kontrolu yapamadigi ve istenilen takım yolundan saptigi anlamina gelir. Ayni islemi degisik

yarıçaplardaki dairesel interpolasyon hareketleri için tekrarlayın, neticede makinanın emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlayan bir radyus-ilerleme grafiği elde edilmiş olmaktadır."

Burada açıklığa kavuşturmak gerekir ki otomatik ilerleme ayarlama fonksiyonu sadece kendi basına bir look ahead -sezinleme- fonksiyonu değildir. Parça programında, yay yarıçapını ve koordinatlarını belirten blok içinde ilerleme değeri verilmektedir. Komple doğrusal interpolasyon hareketi aniden dairesel interpolasyona dönüştürüldüğü takdirde takım yolu kontrolü CNC kontrol sisteminin yapısı gereği güçlenmektedir. Bill Ellyoth, kısıtlı look ahead fonksiyonelliğine sahip olan kontrollerde dahi, bu şekilde olayların beklenebileceğini ve bu şekildeki olaylara çözüm bulunması gerektiğini belirtmektedir. Look ahead kontrolüne sahip olan CNC'lerde herhangi bir dairesel hareket komutunun, doğru segmentlerine oranla daha fazla hareket aralığı tanımlaması dolayısıyla, kontrol sisteminin look-ahead -sezinleme- aralığı Meta Cut programının kullanımı sayesinde daha da genişletilmiş olmaktadır. Takım yolunda ani bir doğrultü değişikliği olduğu durumda programın bu doğrultü değişikliğini algılama kabiliyetine sahip olması ve CNC tezgahı direkt olarak exact stop - tam durma - moduna alması için komut vermesi de program tarafından sağlanmaktadır.

Kontrol Sistemindeki Interpolasyon Tipleri

Her ne kadar direkt yüzey işleme tekniği biraz uzak bir ihtimal gözükse de, bazı kontrol sistemi imalatçıları bu yola doğru hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Siemens tüm geometrinin NURBS yüzey ve eğrileri şeklinde ifade edildiği bir CNC sistemine sahiptir ve aynı şekilde benzer kabiliyetlere sahip CNC sistemini Fanuc firması da bir süre önce duyurmuştur. Kuskusuz, CNC sisteminde böyle bir kabiliyetin olması ticari olarak piyasada bulunan CAD/CAM sistemlerinden alınan yüzeylerin CNC sistemine kolaylıkla transfer edileceği anlamına gelmez, en azından günümüzün CAM konfigürasyonu açısından. Northwood Designs firması bu konu üzerinde çalışmaktadır, ve nokta-nokta takım yolu dosyalarını NURBS eğriler şekline dönüştüren bir yazılıma da sahiptir.