

Mikro Montaj İş İstasyonu

Emrah Deniz Kunt¹, Ahmet Teoman Naskali², Kazım Çakır³, Asif Sabanovic⁴

^{1,2}Mekatronik Mühendisliği
Sabancı Üniversitesi, İstanbul
{edkunt, teoman}@su.sabanciuniv.edu

^{3,4} Mekatronik Mühendisliği
Sabancı Üniversitesi, İstanbul
{kcakir, asif}@sabanciuniv.edu

Özetçe

Bu makalede, mikro boyuttaki komponentlerin verimli ve güvenilir montajı için açık-mimarili, tekrar yapılandırılabilir bir mikromontaj iş istasyonu sunulmaktadır. Bu iş istasyonu mikro dünyadaki problemlerin çözümlendirilmesine yardımcı olmak amacıyla bir araştırma aracı olarak tasarlanmıştır. Böyle bir iş istasyonunun geliştirilmesi aşağıdaki alt sistemlerin tasarımını içermektedir: (i) montaj görevlerinin gerçekleştirilebilmesi için yeterli hareket menziline ve hassasiyeti sağlayabilecek hareket platformlarından oluşan bir manipülatör sistemi, (ii) mikro dünyanın görselleştirilmesini ve montajı yapılacak olan mikro parçaların konum ve yönelimlerini belirleyebilmek için bir görü sistemi, (iii) dayanıklı bir denetleme sistemi ve bunlara ek olarak manipülasyon araçlarının kolayca değişmesine olanak sağlayan ve sistemin önceden belirlenmiş göreve hazır hale getirilmesine yardımcı olacak uç takımlar için gerekli fişürler. Ayrıca sistemde kumandalı ve yarı otomatik montaj uygulamaları da gerçekleştirilmiştir. Tasarım mikro parça manipülasyonu içeren çeşitli uygulamalar yapılarak test edilmiştir. İş istasyonunun çok yönlülüğü ve yüksek doğrulukta konumlama yeteneği yapılan deneylerle gösterilmiştir.

1. Giriş

Son yıllarda minyatürleştirme alanında büyük bir çaba sarfedilmektedir. Bu minyatürleştirme eğiliminin örneklerine yaşamımızın her alanında rastlamak mümkün. Kullandığımız dizüstü bilgisayarlardan cep telefonlarına kadar hep daha küçük olan tercih edilmektedir. "Daha küçük daha iyi" fikrinin zihinlere işlenmesi ve minyatürleşmenin daha ileri gitmesiyle kişinin daha çok becerikli aletle donatılabilmesi bu tercihin nedenlerini oluşturmaktadır. Fakat teknik açıdan bakıldığında minyatürleştirme sürecinde, ölçekleme etkileri, üretim teknikleri ve tahmin edilebileceği üzere montaj konularında birçok sorunla karşılaşmaktadır. Materyaller arasındaki uyumsuzluklar, her bir komponentin işleme yöntemlerindeki çeşitlilik ve fonksiyonel bir mikro yapının oluşturulabilmesi için bu komponentlerin bileşiminin gereksinimi, çok yönlü bir

montaj teknolojisi ve özgül süreçler, yöntemler ve makinelerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Çeşitli komponentlerden oluşan ve birçok fonksiyonla donatılmış mikro sistemlerin üretimi, değişik özelliklerde parçaları düzgün bir şekilde toplayacak, yöneltecek, hareket ettirecek ve doğru noktalara yerleştirebilecek esnek, modüler ve hassas mekanizmalar gerektirmektedir. Bir ürün bünyesinde çeşitli fonksiyonlar çeşitli malzemelerin varlığına gereksinimine yol açtığı için mikro parçalar açısından düşünüldüğünde montaj kilit bir süreç halini almaktadır.

Mikro montaj işlemlerinde istenen sonucu alabilmek için mikro işleme teknikleriyle üretilmiş mikro parçaların verimli ve güvenilir montajına olanak sağlayan açık-mimarili, yeniden yapılandırılabilir bir mikro montaj iş istasyonunun geliştirilmesi gerekmektedir. İnsan yeteneklerinin yerini otomatik bir makine alacağından, mikro dünyada insan elinden daha üstün mikro ölçekli manipülasyon araçları, bu araçların materyal özellikleri ve montajı yapılacak olan mikro parçaların özellikleri büyük önem kazanmaktadır. Manipüle edilecek parçaların boyutlarının küçüklüğünden kaynaklanan, yüksek hassasiyet gereksinimi ve birtakım mikro dünyaya özgü temel problemler tamamen incelenmediği için, mikro montaj konusu halen önemli bir problem olarak süregelmektedir.

Mikro montaj sistemleri geliştirmeye yönelik birçok araştırma yürütülmüş ve yürütülmektedir. Bu bağlamda, [1] [2] ve [3]'te montaj işlemleri otomatik olarak kontrol edilen mikro robotlar tarafından gerçekleştirilen, esnek mikro robot tabanlı masa üstü mikro montaj istasyonları sunulmuştur. [4]'te sadece uygulamaya özgü değil genel kullanıma uygun olma amacı taşıyan bir robotik iş istasyonu önerilmiş ve mikro bobinlerin yapımında kullanılmıştır. [5]'te haptik ve görsel ara birim aracılığıyla mikro parçaların manipülasyonuna dayanan bir mikro manipülasyon sistemi ve [6]'da MOEMS ve mikro akışkan cihazların montajında kullanılan bir mikro montaj iş istasyonu sunulmuştur.

Bu makalede, mikro parçaların verimli ve güvenilir montajına olanak sağlayacak, yineleyebilir, güvenilir, açık-mimariliye sahip ve yeniden yapılandırılabilir bir mikro montaj iş istasyonu önerilmektedir. Mikro montajda, her türlü montaj görevine uygun evrensel bir tutucu kavramı mümkün gözükmeyeceği için gerçekleştirilecek uygulamaya ve manipüle edilecek parçaların özelliklerine göre uygun bir manipülasyon aracı kullanılmalıdır. Bu nedenle, manipülasyon aracının kolayca değiştirilmesine olanak sağlayarak çeşitli mikro

montaj işlemlerini gerçekleştirebilecek ve böylece manipülasyon aletine bağlı kısıtlamaları ortadan kaldıracak bir platform sunulmaktadır.

Öte yandan, mikro montaj işlemlerinde yüksek doğruluk derecesine ihtiyaç duyulması, mikro ölçekteki parçaların otomatik montajı için mikro montaj sistemlerinin hareket hassasiyetleri mikrometre ve hatta nanometre seviyelerde olmalıdır. İş istasyonu için bu yüksek hassasiyet gereksinimine odaklanılarak hareket denetlemede nanometre seviyesinde hassasiyet elde edilmiştir.

2. Mikro Montaj İş İstasyonu

2.1. Tasarım Gereksinimleri

Makro dünyadaki montaj işlemleriyle karşılaştırıldığında mikro dünyadaki montaj gereksinimleri önemli farklılıklar göstermektedir. Bu iki dünyadaki montaj arasındaki en temel farklılık montaj makinelerinin konumlama doğruluklarıdır. Montajı yapılacak parçaların boyutları küçüldükçe parçaların montajının doğru bir şekilde yapılabilmesi için hareket hassasiyetinin de daha iyi seviyelerde olması gerekmektedir. Makro dünyadaki robotik manipülatörlerde hassasiyet seviyesi genellikle birkaç mikron seviyesindedir fakat mikro dünya için mikron seviyesinden daha iyi hassasiyetler gerekmektedir. Hassas ve doğru ölçümlerin zorluğu ve esnek bağlantıların yapısal titreşimlere yol açması mikro dünyada konumlandırma işlemini önemli derecede zor hale getirmektedir.

Mikroskop oryantasyonu, büyütme oranı ve alan derinliği gibi konularda kısıtlamalar olması nedeniyle mikro dünyada görselleştirme de dikkat edilmesi gereken önemli konulardan biridir. Mikroskoplar ilgilenilen nesnenin direk görüntülenebilme yetisini kısıtlamaktadırlar. Mikro dünyayı görselleştirme için gerekli olan yüksek büyütme oranları görüş alanını çok küçük boyutlara çekmektedir ve bu da nesnenin global konum bilgisinin edinilmesinde zorluklar yaratmaktadır. Yüksek büyütme oranları, alan derinliği de önemli bir sorun haline gelmekte ve kısıtlı alan derinliği düzlemsel olmayan nesnelere ve hareket eden yapıların net görüntülerinin elde edilmesini engellemektedir. Bir diğer sorun da mikroskopun çalışma alanının manipülasyon işlemlerini kısıtlamasıdır. Hareket serbestlik derecesinin artması da karmaşık uç takımı yapılarından kaynaklanabilecek görüntü engellenmelerine yol açabileceği için bir dezavantaj olabilmektedir.

Mikro manipülasyonda çok büyük öneme sahip bir diğer konu da kuvvet ölçeklendirilmesidir. Nesnelere boyutları küçüldükçe eylemsizlik kuvvetleri yapışma kuvvetlerine kıyasla daha hızlı küçülmektedir. Bunun nedeni de eylemsizlik kuvvetleri nesnenin hacmine bağlı iken yapışma kuvvetlerinin yüzeye bağlı kuvvetler olmasından kaynaklanmaktadır. Yapışma kuvvetlerinin etkisinden dolayı nesnenin tutulduktan sonra bırakılması büyük bir problem haline gelmektedir. Bu nedenle, yapışma kuvvetlerinin etkileri, gürbüz bir mikro manipülasyon işlemi ve nesnenin hareketini engellemek gibi kısıtlamalara yol açmakta ve dikkatlice incelenmesi gerekmektedir.

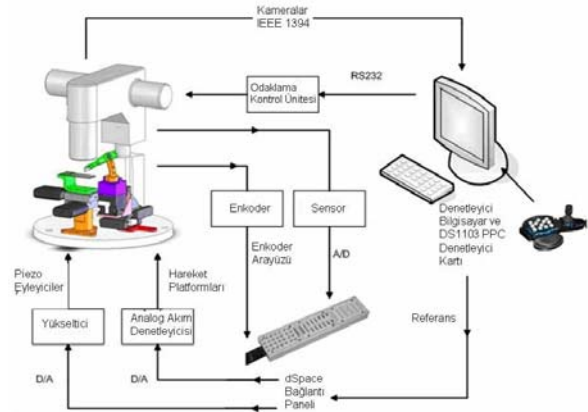
Makro ve mikro dünyadaki montaj arasındaki farklılıklar mikro montaj iş istasyonu tasarımının temel gereksinimlerini oluşturmaktadır.

Hem donanım hem de yazılım açısından açık mimarili ve yeniden yapılandırılabilir bir mikro montaj iş istasyonunun

çeşitli uygulamalara kolayca uyum sağlayabilmesi öznel bir tasarım süreci gerektirmekte ve sistemin bu özelliği esneklik kavramını da bir diğer tasarım gereksinimi olarak öne çıkarmaktadır.

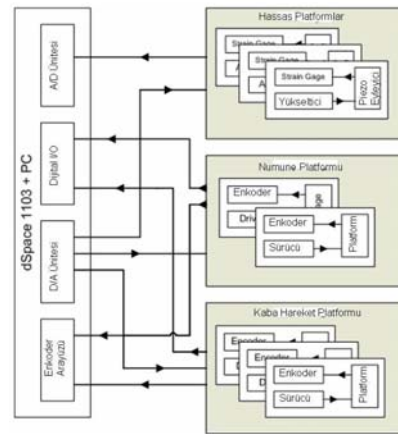
2.2. Tasarım ve Gerçekleme

Hassas, esnek ve gürbüz bir mikro montaj iş istasyonu hedeflediği için sistemin yapılandırılması olabildiğince basit ve yüksek verimlilik sağlayacak şekilde olmalıdır. Sistemin genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Sistem şu alt sistemlerden oluşmaktadır:



Şekil 1: Sistem Genel Yapısı

Manipülasyon sistemi mikro manipülasyon işlemleri için gerekli olan hareketi sağlayan araç manipülatörü ve numune platformundan oluşmaktadır. Araç manipülatörü manipülasyon için gerekli olan hareket menzili ve gerekli hassasiyette hareketi sağlayabilen kaba ve hassas konumlandırma platformlarından oluşmaktadır. Kaba hareket platformlarından kaynaklanan konumlandırma hataları hassas konumlandırma platformu tarafından giderilerek gerekli hassasiyet böylece sağlanabilmektedir. Numune platformu, manipüle edilecek parçaların bulunduğu ürün nesne tablasınının değişik bölgelerini görme alanına getirerek bu nesne tablasının daha verimli kullanılabilmesini sağlamaktadır.

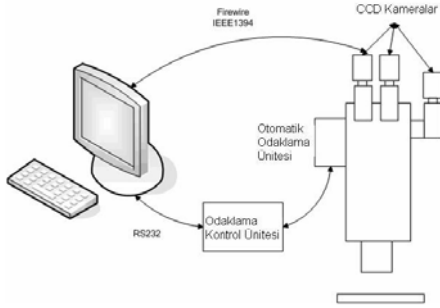


Şekil 2 : Denetleme Sistem Mimarisi

Denetleme sistemi bir kişisel bilgisayardan ve gömülü bir denetleme kartından oluşan sistemin ana denetleme ünitesidir.

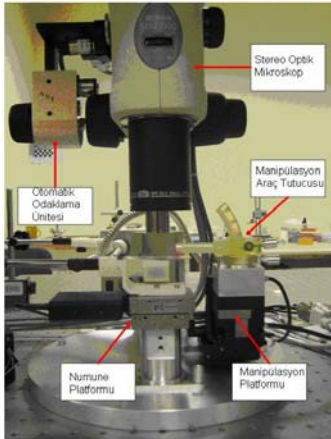
Bütün eksenlerin aynı anda gerçek zamanlı denetlemesini yapabilecek kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Merkezi bir yapı oluşturmak için; hiçbir algılayıcı veya eyleyici ile direk olarak bağlantısı olmayan gerekli referans değerlerini belirleyen bir ana denetleme bilgisayarı ve ana denetleme bilgisayarı referans değerlerini alarak hızlı bir denetleme döngüsü gerçekleştirebilen bir alt denetleme bilgisayarı gerekmektedir. Yüksek performanslı bir kişisel bilgisayar (PC) ana denetleme bilgisayarı olarak yapılandırılmış ve sistem yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Görüntü sistemi stereoskopik bir optik mikroskop, CCD kameralar, otomatik odaklama ünitesi ve bir ayna düzeneği ve kaynak olarak da fiber aydınlatıcı kullanılarak yapılandırılan bir alttan ışıklandırma sisteminden oluşmaktadır. Bu yapı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3: Görü Sistemi

Uç takımları ve gereken fiş türler sistemde değişimli olarak kullanılmaktadır. Mikro tutucular, miller ve diğer manipülasyon araçları kullanılabilir ve bunlar için gerekli fiş türler sisteme kolayca entegre edilebilir şekilde tasarlanmıştır. Çevresel titreşimlerden etkilenmemesi için sistem aktif olarak kontrol edilen bir sönümleme masası üzerine yerleştirilmiştir. Tasarlanan sistem Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4: Mikro Montaj İş İstasyonu

2.3. Sistem Yönetimi ve Denetleme

Hassasiyet ve doğruluk çoğunlukla denetleme performansına bağlı olduğu için hareket denetlemesi mikro montaj iş

istasyonunun temellerini oluşturmaktadır. Sistem yönetim ve denetlemesi ana olarak hareket denetlemesi ve imge işleme süreçlerini kapsamaktadır. Hareket yüksek doğruluk seviyelerine erişebilmek için denetleme metodu dikkatli bir şekilde seçilmelidir. Görü sistemi diğer algılayıcılardan gelen geri beslemelerle birlikte hareket denetleme ünitesi için harici geri besleme sağlamaktadır. Birtakım görüntü işleme teknikleri kullanılarak, otomatik montaj görevleri için gerekli olan manipüle edilecek parçaların ve manipülasyon araçlarının birbirlerine göre konumları elde edilmektedir. Hareket üniteleri görü sisteminden gelen geri beslemeye göre çalıştığı için, montaj işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi adına görü sisteminin çok hassas çalışması gerekmektedir. Kumandalı işlemlerde kullanıcı hareketi tanımladığı için sadece kalibrasyon büyük öneme sahipken otomatik işlemlerde çıkarılan konum bilgisine göre hareket referansını görü sistemi sağladığı için çok daha büyük önem kazanmaktadır.

2.3.1. Hareket Denetimi

Yüksek hassasiyette hareket denetlemesi gereken sistemlerde kontrol algoritmasının gürbüzlüğü en önemli faktördür. Hatta sistem histerezis ve sürtünme gibi doğrusalsızlıklar içermekteyse nominal sistem parametrelerine bağlı olan ve parametre belirsizliklerini reddeden gürbüz bir denetleyici daha avantajlı olmaktadır.

Kayan kipli kontrol, önceden belirlenmiş bir küme anahtarlama yüzeylerine ulaşmaya yönelik yapı değiştiren süreksiz bir denetleme aksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Bu denetleme, yapısı içerisinde muhteva ettiği bozucu etken reddetme sayesinde modellenmemiş dinamikleri telafi ederek ve bunun sonucunda yüksek hassasiyet ve hızlı tepki elde edilmesi olasılığı yaratan gürbüz bir sistem ortaya çıkarabilmektedir.

Kayan kipli denetleyicinin kesik zamanlı gerçekleştirimi aşağıdaki gibidir:

Aşağıdaki sistemi ele aldığımızda;

$$\dot{x} = F(x, t) + B(x, t)u \quad (1)$$

$x \in \mathcal{R}^n$ sistemin durum vektörü,
 $F(x, t) : \mathcal{R}^n \times \mathcal{R}^+ \rightarrow \mathcal{R}^n$ sistemin kontrolsüz dinamiklerini tanımlayan sürekli ve sınırlanmış doğrusal veya doğrusal olmayan. $B(x, t) : \mathcal{R}^n \times \mathcal{R}^+ \rightarrow \mathcal{R}^{n \times m}$ her x, t çifti için denetleme girdisine bağlı olarak sistemi doğrusal yapan ve $rank(B) = m$ olan sürekli ve sınırlanmış bir matristir. $t \in \mathcal{R}^+$ bağımsız zaman değişkenini göstermektedir. Denetleme kanununun türetilmesi kesin pozitif bir Lyapunov fonksiyonu adayı seçimiyle başlamaktadır, $v(\sigma)$ Lyapunov kararlılık kriterlerini sağladığı varsayılırsa;

$$\dot{v}(\sigma)v(\sigma) < 0 \quad (2)$$

Bu formdaki bir Lyapunov fonksiyonu için

$$v(\sigma) = \frac{\sigma^T \sigma}{2} \quad (3)$$

Fonksiyonun türevi

$$\dot{v}(\sigma) = \sigma^T \dot{\sigma} \quad (4)$$

Denetleme fonksiyonunu şu şekilde tasarlandığında

$$\dot{\sigma} + D\sigma = 0 \quad (5)$$

Lyapunov fonksiyonunun türevi kesin negatif bir fonksiyon olmaktadır

$$\dot{v}(\sigma) = -\sigma^T D\sigma \quad (6)$$

ve Lyapunov kararlılık kriterlerini sağlamaktadır, $D \in \mathfrak{R}^{m \times m}$ herbir boyutta kayma manifoldunun eğimini tanımlayan kesin pozitif simetrik bir matris. Lyapunov fonksiyonu ve türevinin karşıt işaretlere sahip olması denetlemenin de yardımıyla sistemi $\dot{v}(\sigma) = v(\sigma) = 0$ gitmeye zorlar ve kararlılık sağlanır. Kesik zamanlı kayan kipli denetleyici tasarlanırken, sürekli hareket denklemini de kesik zamanlı eşleniği ile değiştirilmelidir.

$$x_{k+1} = F_k(x_k) + B_k(x_k)u_k \quad (7)$$

yukarıdaki (7) denkleminde $x_i = x(i\Delta t)$ $x \in \mathfrak{R}^n$, $F_i = \Delta t F(x_i, i\Delta t) + x_i$ $F: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}^n$, $B_i = \Delta t B_i(x_i, i\Delta t)$ $B_i: \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}^{n \times m}$, $u_i = u(i\Delta t)$ $u_i \in \mathfrak{R}^m$, $i \in Z^+$ şeklinde tanımlanmıştır ve Δt örnekleme zamanıdır.

$e_x = x^{ref} - x$ şeklinde bir takip hatası için, σ $\sigma(x) = Ge_x$ olarak seçildiğinde $G \in \mathfrak{R}^{m \times n}$ için $\sigma(x) = 0$ kayma manifoldunda denetleme amaçlarını sağlamak için $\det(GB_k) \neq 0$ olmalıdır.

$$\dot{\sigma} = GB(u - u_{eq}) \quad (8)$$

yukarıdaki (8) denklemini u_{eq} için çözüldüğünde

$$u_{eq} = u - [GB]^{-1} \dot{\sigma} \quad (9)$$

u_{eq} sürekli bir fonksiyon olduğu için o anki u_{eq} değerinin yaklaşık değeri;

$$\widehat{u_{eqk}} \approx u_{eqk-1} = u_{k-1} + [GB_k]^{-1} \dot{\sigma}_{k-1} \quad (10)$$

$\dot{\sigma}$ Euler yaklaşımı kullanılarak kesikli formda yazıldığında

$$\dot{\sigma}_{k-1} = \frac{\sigma_k - \sigma_{k-1}}{\Delta t} \quad (11)$$

(8) ve (5) u_k için çözüldüğünde

$$u_k = u_{eqk} - [GB_k]^{-1} D\sigma_k \quad (12)$$

Aşağıdaki yaklaşım kullanıldığında

$$u_k \cong u_{eqk-1} - [GB_k]^{-1} D\sigma_k \quad (13)$$

(10) ve (11) beraber çözüldüğünde

$$u_{eqk-1} = u_{k-1} - [GB_k]^{-1} \frac{\sigma_k - \sigma_{k-1}}{\Delta t} \quad (14)$$

(14) ü (13) le kullanınca

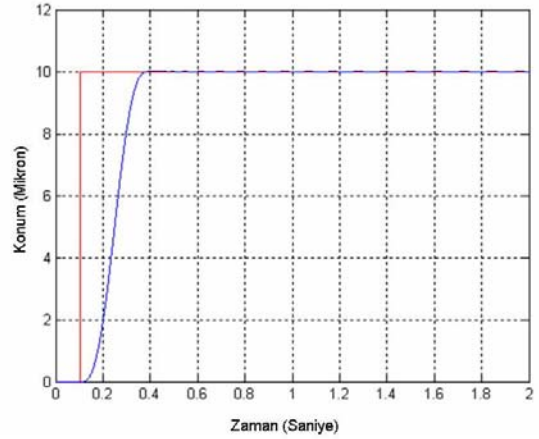
$$u_k = u_{k-1} - [GB_k]^{-1} \left(\left(D + \frac{1}{\Delta t} \right) \sigma_k - \frac{\sigma_{k-1}}{\Delta t} \right) \quad (15)$$

Sadeleştirmeler sonucunda aşağıdaki denklem elde edilir;

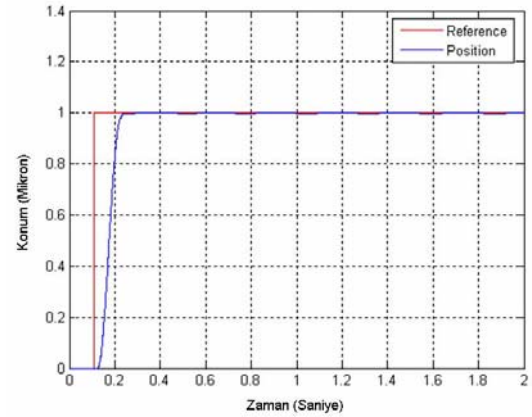
$$u_k = u_{k-1} - [GB_k \Delta t]^{-1} \left((1 + DT) \sigma_k - \sigma_{k-1} \right) \quad (16)$$

(16) daki denetleme yapısı hareket platformları ve piezo eyleyiciler için kesikli kayan kipli denetleyici olarak kullanılmıştır.

Hareket platformlarının 10 ve 1 mikronluk adım tepkileri takip eden şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5 : Hareket Platformlarının 10 µm Adım Tepkisi



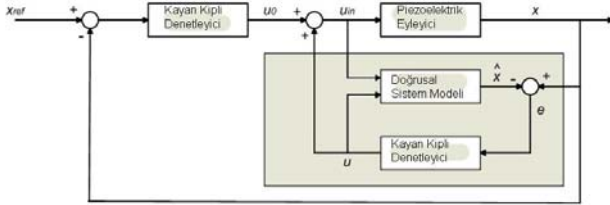
Şekil 6: Hareket Platformlarının 1 µm Adım Tepkisi

Şekillerden de görülebileceği üzere konum referansları verildiğinde hareket platformlarının performansları tatmin edici derecelerde fakat enkoder çözünürlüğüne karşılık gelen 0.007 mikronluk bir salınım sorunu gözükmemektedir. Bu genlikteki bir hata ihmal edilebilir bir seviyede çünkü bu hata hassas piezo hareket platformu tarafından telafi edilebilir.

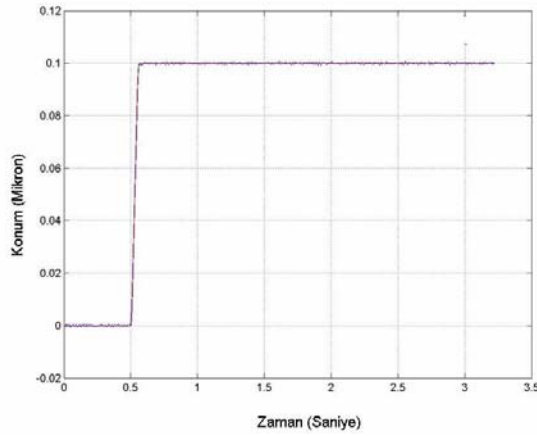
Piezo eyleyiciler için bozucu etken gözlemcisi (Şekil 7) [7] de detaylı olarak açıklanmış ve sistemde aynı şekilde kullanılmıştır.

Piezo eyleyicilerin çeşitli referans değerleri için adım tepkileri Şekil 8 9'da gösterilmiştir.

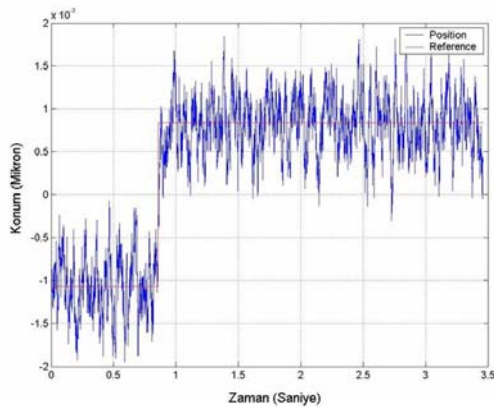
Şekillerden de görülebileceği gibi sistem istenen konuma hızlı bir şekilde ulaşmaktadır. Fakat ölçüm aygıtlarından kaynaklanan ve sistemin durağan halini etkileyen ve 1-1.5 nanometre genlikte bir titreşime sebep olan yüksek frekans aralığındaki gürültüden etkilenmektedir.



Şekil 7 : Gözlemci Gerçekleşmesi



Şekil 8 : Piezo Eyleyicilerin 100 nm Adım Tepkisi



Şekil 9: Piezo Eyleyicilerin 2 nm Adım Tepkisi

2.3.2. Görü Sistemi

Görü sisteminin ana görevi manipülasyon görevleri için kullanıcıya rehberlik etmek ve otomatik montaj işlemleri için

gerekli konum bilgisinin görüntüden elde edilmesini sağlamaktır. Mikro montaj sürecinde konum çıkarımı işlemlerinden tipik uygulamalar; manipüle edilecek parçaların, manipülasyon araçlarının, itme ve tutma noktalarının konumlarının belirlenmesi gibi görevleri içermektedir. Konum belirleme süreci şu aşamaları içermektedir; kameradan alınan görüntülerin eşikleme ile segmentasyonu, görüntü içerisinde bulunan nesnelerin sınırlarını oluşturan kenar ve köşeleri belirten keskin kontrast değişimlerinin çıkarımı, nesnelerin tanımlanması ve gereken bilginin çıkarımı. Konum belirlemeye ek olarak görüntü sistemiyle ilgili birtakım ön işleme süreçleri bulunmaktadır.

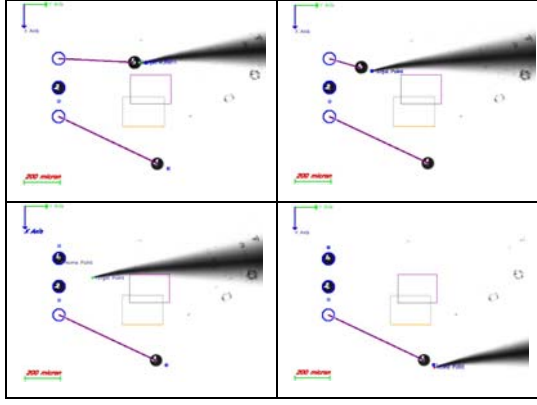
Bu ön işleme süreçleri montaj işlemleri gerçekleştirilmeden önce tamamlanması gereken ve sistem parametrelerinin ve tanımlanacak nesnelerin modelleri hakkındaki bilgilerin elde edilmesi ve belirlenmesi için gerekli olan birtakım işlemleri içermektedir. Bu işlemler; görüntü işleme algoritmalarının gerçekleştirilmesi için gereken temiz görüntü elde edilmesi süreci için otomatik odaklama, derinlik bilgisi ve görüntü uzayının gerçek dünya koordinatlarına eşlenmesini için gerekli kamera kalibrasyon süreçlerini içermektedir. Bu bağlamda, görüntü işlemleri yapısı şu şekildedir; öncelikle ileriki işlemler için gerekli olan temiz görüntünün elde edilmesi için otomatik odaklama, görüntü uzayında gerekli nesne konumlarının çıkarımı ve son olarak kalibrasyon sayesinde çıkarılan parametrelere göre gerçek dünya koordinat verisinin montaj işlemini gerçekleştirmek üzere hareket sistemine iletilmesi.

2.4. Deneyler ve Sonuçlar

Sistemin güvenilirliğini test etmek amacıyla kumandalı ve yarı otomatik olmak üzere iki değişik modda deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu makalede açıklanan deneylerde 70 µm çapında polystyrene küreler ve manipülasyon aracı olarak da sivri uçlu tungsten miller kullanılmıştır. Kumandalı mikro montaj işlemleri iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir; (i) ekran üzerinde fare ile komut verilerek, (ii) joystick kullanılarak. Yarı otomatik mikro montaj işlemleri kullanıcının belirli bir kapsamda müdahalesini içermektedir. Kullanıcı sadece manipüle edilmesini istediği parçayı ve hangi noktaya hareket ettirmesini istediğini belirtir ve geri kalan işlemler otomatik olarak gerçekleştirilir.

Kumandalı sistemlerde kullanıcının el hareketleri bir insan makine ara birimi (MMI) aracılığıyla hareket sistemine aktarılmaktadır. Sistemimiz kullanıcının bir joystick aracılığıyla manipülatör ve numune platformlarının X ve Y eksenlerini kontrol edebilmesine olanak sunmaktadır. Ayrıca kullanıcı fare aracılığıyla grafik ara birimi aracılığıyla ekran üzerine tıklayarak hareket başlangıç ve bitiş noktalarını seçmek suretiyle de sistemi kontrol edebilmektedir.

Şekil 10 önceden tanımlanmış bir doğru taslağı kullanılarak oluşturulmuş deney sonucunu göstermektedir. Parçaların hedef konumları ekranda dairelerle gösterilmiştir. Herbir küre kendisine en yakın hedef noktasına hareket ettirilmesi hedeflenmektedir. Kullanıcıya yardımcı olmak amacı ile parçaların itme noktaları ve mikro parçanın hareket rotası parçanın merkezi ve hedef nokta arasında bir doğru ile ekranda gösterilmektedir. Kullanıcı sadece ekrana tıklayarak mil ucunu itme noktasına getirir ve parçayı doğru yönünde itmek için yine tıklayarak gerekli komutları verir. Bu süreç her bir adımda tekrarlanmaktadır.



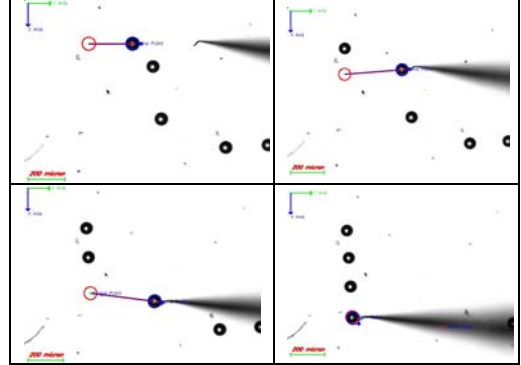
Şekil 10 – Kumandalı montaj aşamaları

Yarı otomatik mikro montaj işleminde kullanıcının montaj sürecine müdahalesi kısıtlanmıştır. Kumandalı montajda kullanıcının gerçekleştirdiği işlemler bu modda sistemde daha önceden tanımlanmıştır. Kullanıcı sadece hareket ettirilmek istenen parçayı ve nereye taşınmasını istediğini ekrana tıklayarak belirtmektedir. İşlemin geri kalanı otomatik olarak kullanıcı müdahalesi olmadan sistem tarafından gerçekleştirilmektedir. Kullanıcı tarafından ilk işlemler yapıldıktan sonra, parça ve hedef nokta arasında göreceli mesafe gördü sistemi tarafından hesaplanarak hareket sistemine iletilirken aynı anda hareket sisteminden konum bilgisi geri besleme olarak gönderilir. Hem kumandalı hem de yarı otomatik olarak gerçekleştirilen deneylerde gözlemlenmiştir ki; itme işlemi kademeli olarak itme, geri çekilme ve tekrar itme şeklinde gerçekleştirilmelidir. Bunun nedeni parçaları uzun mesafeli itmek parçaların kendi ve mil etrafında dönmelerine yol açmakta ve itme işlemini başarısız kılmaktadır. Ayrıca bu dönme nedeniyle parçalar mile yapışma olasılığı da ortaya çıkmaktadır. Parçaların mil etrafında dönmeleri sonucunda mil ve parça arasındaki temas yüzeyi artmakta ve parçaların mile yapışması ile montaj işlemi başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu nedenle yarı otomatik montaj işlemleri kademeli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Mil belirlenen itme noktasına hareket ettirilmekte ve belirlenen doğrusal yörünge doğrultusunda küçük bir miktar itilmekte ve son olarak da mil geri çekilmektedir. Bu aşamalar parça belirlenen noktaya götürülene kadar devam etmektedir. Küre parçalar kullanılarak bir doğru oluşturma deneyinin aşamaları Şekil 11’de gösterilmiştir. Bu deneyde, kullanıcı parçayı ve hedef noktayı seçmekte ve bunu her parça için yapmaktadır. Herbir parçanın istenilen noktaya yerleştirilmesinden sonra mil başlangıç pozisyonuna geri dönmekte ve sistem yeni görev için bekler duruma geçmektedir.

3. Sonuçlar

Bu makalede mikro parçaların verimli ve güvenilir montajının yapılabilmesini sağlayan açık mimarili ve yeniden yapılandırılabilir bir mikro montaj iş istasyonunun tasarımı ve gerçekleştirilmesi sunulmuştur. Otomatik bir sistem için tasarım gereksinimleri açıklanmış ve bu gereksinimler gözönüne alınarak sistemin hayata geçirilmesi anlatılmıştır. Yapılan iş istasyonu algılayıcı geri beslemelerine dayalı mikro parçaların otomatik montajı konusunda önemli bir adım oluşturmaktadır. Sistemin kumandalı ve yarı otomatik gibi

değişik çalışma modlarında fonksiyonelliğini test edilmiş ve hassasiyet, doğruluk, güvenilirlik ve tekrar edilebilirlik gibi konularda iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Hareket planlama algoritmalarının da eklenmesiyle, sistem hiçbir insan müdahalesi olmadan tam otomatik moda çalışabilecektir.



Şekil 11- Yarı otomatik montaj aşamaları

4. Kaynakça

- [1] S. Fatikow, J. Seyfried, S. Fahlbusch, A. Buerkle, and F. Schmoedel, "A flexible microrobot-based microassembly station," presented at Emerging Technologies and Factory Automation, 1999. Proceedings. ETFA '99. 1999 7th IEEE International Conference on, 1999.
- [2] H. Woern, J. Seyfried, S. Fahlbusch, A. Buerkle, and F. Schmoedel, "Flexible microrobots for micro assembly tasks," presented at Micromechatronics and Human Science, 2000. MHS 2000. Proceedings of 2000 International Symposium on, 2000.
- [3] S. Fatikow and U. Rembold, "An automated microrobot-based desktop station for micro assembly and handling of micro-objects," presented at Emerging Technologies and Factory Automation, 1996. EFTA '96. Proceedings., 1996 IEEE Conference on, 1996.
- [4] N. Dechev, W. L. Cleghorn, and J. K. Mills, "Construction of a 3D MEMS Microcoil Using Sequential Robotic Microassembly Operations," presented at ASME International Mechanical Engineering Congress, IMECE2003, Washington, DC, 2003.
- [5] D.-H. Kim, K. Kim, K.-Y. Kim, and S.-M. Cha, "Dexterous teleoperation for micro parts handling based on haptic/visual interface," presented at Micromechatronics and Human Science, 2001. MHS 2001. Proceedings of 2001 International Symposium on, 2001.
- [6] D. Popa, B. H. Kang, J. Sin, and J. Zou, "Reconfigurable micro-assembly system for photonics applications," presented at Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on, 2002.
- [7] S. Khan, M. Elitas, E. D.Kunt, and A. Sabanovic, "Discrete Sliding Mode Control of Piezo Actuator in Nano-Scale Range," presented at IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2006), Mumbai, India, 2006.