ÖZET

ÜÇ BOYUTLU YÜZEYLER ÜZERİNDE ROBOT MANİPÜLATÖRLERİ İÇİN KAPSAMA YOLU OLUŞTURULMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM

Buluş, bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistem ve bahsedilen sistemde gerçekleştirilmek üzere bir yöntem ile ilgilidir.

İSTEMLER

1. Bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistemde gerçekleştirilmek üzere bir yöntem olup **özelliği;**
   - bahsedilen üç boyutlu algılama birimi aracılığıyla, bahsedilen üç boyutlu yüzeye ilişkin çok sayıda noktayı içeren en az bir nokta bulutunun elde edilmesi,
   - bahsedilen nokta bulutunun, uzamsal olarak filtrelenmesi ile kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi,
   - bahsedilen filtrelenmiş nokta bulutuna bağlı olarak bir sınırlayıcı alanın oluşturulması,
   - bahsedilen sınırlayıcı alan içerisinde en az bir tarama tekniği ile iki boyutlu bir kapsama deseninin elde edilmesi,
   - bahsedilen iki boyutlu kapsama desenindeki her bir ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutunda bahsedilen ara noktaya karşılık gelebilecek üç boyutlu noktaların aranması,
   - arama sonucunda ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunması durumunda bahsedilen ara noktanın geçerli olarak belirlenmesi, ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunmaması durumunda ara noktanın geçersiz olarak belirlenmesi,
   - geçerli olarak belirlenen ara noktalara karşılık gelen üç boyutlu noktaların, referans bir bağlantılılık yarıçapı içerisinde kümelenmesi ve her bir kümenin bir merkez nokta ile temsil edilmesi,
   - bahsedilen merkez noktaların, en yakın-komşu yaklaşımı kullanılarak sıralanması,
   - sıralanan her bir merkez nokta için, filtrelenmiş nokta bulutu içerisindeki komşu noktalar kullanılarak temel bileşenler analizi yöntemiyle yerel yüzey normalinin hesaplanması ve bahsedilen yerel yüzey normaline bağlı olarak bir yönelim bilgisinin üretilmesi,
   - merkez noktalar ve yönelim bağlı olarak bahsedilen kapsama yolunun oluşturulması

   adımlarını içermesidir.

2. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; nokta bulutunun, uzamsal olarak filtrelenmesi ile kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi adımının,

- kapsama yolu oluşturulacak yüzey bölgesinin bir ilgi bölgesi (ROI) olarak seçilmesiyle kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi adımını içermesidir.

3. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; filtrelenmiş nokta bulutuna bağlı olarak bir sınırlayıcı alanın oluşturulması adımının, filtrelenmiş nokta bulutunun bir XY düzlemine ortografik olarak projekte edilmesi ile oluşturulması adımını içermesidir.

4. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; bahsedilen sınırlayıcı alan içerisinde en az bir tarama tekniği ile iki boyutlu bir kapsama deseninin elde edilmesi adımının, sınırlayıcı alan içerisinde, referans bir aralık parametresi kullanılarak boustrophedon ve/veya spiral tarama teknikleri ile iki boyutlu bir kapsama deseninin üretilmesi adımını içermesidir.

5. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; bahsedilen iki boyutlu kapsama desenindeki her bir ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutunda bahsedilen ara noktaya karşılık gelebilecek üç boyutlu noktaların aranması adımının,
   - iki boyutlu kapsama deseninde yer alan her bir iki boyutlu ara nokta için, bahsedilen iki boyutlu ara noktanın XY koordinatları etrafında bir yarıçap ve Z ekseni boyunca belirli bir yükseklik aralığı ile tanımlanan bir arama hacmi içerisinde gerçekleştirilmesi,

   adımlarını içermesidir.

6. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; bahsedilen sınırlayıcı alanın, bahsedilen filtrelenmiş nokta bulutunun XY düzlemine ortografik olarak projekte edilmesi ile elde edilen eksen hizalı bir sınırlayıcı dikdörtgen olmasıdır.

7. Yukarıdaki istemlerden herhangi birinde açıklanan yöntem adımlarının bir işlemci birimi tarafından gerçekleştirilmesidir.

8. İstem 1'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; oluşturulan kapsama yolunda yer alan her bir yol noktası için robot manipülatörüne ilişkin ters kinematik hesaplamalarının gerçekleştirilmesi ve her bir yol noktasına karşılık gelen en az bir eklem konfigürasyonunun belirlenmesi adımını içermesidir.

9. İstem 8'e göre bir yöntem olup ***özelliği***; oluşturulan kapsama yolunda yer alan bir yol noktası için ters kinematik çözümünün başarısız olması durumunda,

- kapsama yolunun sürekliliğini korumak amacıyla, eklem uzayında ara eklem konfigürasyonlarının üretilmesi,
- üretilen ara eklem konfigürasyonlarının ileri kinematik hesaplamalar ile değerlendirilmesi,
- ileri kinematik hesaplamalar sonucunda elde edilen uç-efektör konum ve yönelim bilgilerinin, hedef konum ve yönelim için önceden belirlenmiş toleranslara göre karşılaştırılması,
- bahsedilen toleransları sağlayan uygun eklem konfigürasyonunun belirlenmesi,
- herhangi bir uygun eklem konfigürasyonunun elde edilememesi durumunda ise ilgili yol noktasının kapsama yolundan çıkarılması,

adımlarını içermesidir.

10. Bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistemde gerçekleştirilmek üzere bir sistem olup **özelliği;** önceki istemlerde açıklanan yöntem adımlarını gerçekleştirmeye yarayan bir işlemci birimini içermesidir.

11. İstem 10'a göre bir sistem olup ***özelliği***; üç boyutlu algılama biriminin en az bir derinlik kamerasını içermesidir.

12. İstem 10'a göre bir sistem olup ***özelliği***; üç boyutlu algılama biriminin en az bir lidar içermesidir.

TARİFNAME

ÜÇ BOYUTLU YÜZEYLER ÜZERİNDE ROBOT MANİPÜLATÖRLERİ İÇİN KAPSAMA YOLU OLUŞTURULMASINA YÖNELİK BİR YÖNTEM

TEKNİK ALAN

Buluş, bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistem ve bahsedilen sistemde gerçekleştirilmek üzere bir yöntem ile ilgilidir.

ÖNCEKİ TEKNİK

Üretim, havacılık, otomotiv, robotik ve otomasyon ile inşaat gibi endüstriyel alanlarda, otomatik sistemlerin büyük ölçekli ve geometrik olarak karmaşık üç boyutlu yüzeyler üzerinde belirli işlemleri gerçekleştirmesi giderek daha yaygın hale gelmektedir. Bu tür uygulamalarda, yüzey taşlama, parlatma, kaplama, boyama ve benzeri işlemlerin başarılı biçimde uygulanabilmesi için, robot manipülatörlerinin yüzeyin tamamını düzenli, kesintisiz ve kontrollü bir şekilde kapsayacak hareket yollarını izlemesi gerekmektedir. Bu gereksinim, robotların sadece belirli noktalara erişmesini değil, yüzeyin tamamını kapsayan, sürekliliği olan ve yüzey geometrisiyle uyumlu hareket yollarının oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, üç boyutlu yüzeyler üzerinde kapsama yolu planlaması, endüstriyel otomasyon sistemlerinin temel problemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mevcut tekniklerde kullanılan yol planlama yaklaşımları çoğunlukla statik bilgisayar destekli tasarım (CAD) modellerine, parametrik yüzey temsillerine, UV açınımına veya üçgenlenmiş yüzey ağlarına dayanmaktadır. Bu tür yöntemler, yüzey geometrisinin önceden tam olarak bilindiği ve değişmediği varsayımı altında çalışmakta, yüzey modelinin oluşturulması ve işlenmesi için önemli ölçüde hesaplama ve bellek kaynağı gerektirmektedir. Buna ek olarak, geleneksel yaklaşımlarda geometrik yol planlamasını takiben çözümleme, eklem uzayı uygunluk denetimleri ve çarpışma kontrolleri gibi ek adımların uygulanması gerekmektedir. Bu adımlar, özellikle çok serbestlik derecesine sahip robot manipülatörleri söz konusu olduğunda, hesaplama yükünü daha da artırmakta ve sistemin gerçek zamanlı çalışmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca bu tür yöntemler, robotun kinematik yapısına yüksek derecede bağımlı olup, farklı robot platformlarına uyarlanabilirlik açısından sınırlamalar içermektedir. Öte yandan, yüzey geometrisinin üç boyutlu algılama sistemleri aracılığıyla elde edilebildiği durumlarda, geleneksel yöntemler çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Kısmi, gürültülü veya

eksik taramalardan elde edilen veriler, yüzeyin güvenilir bir biçimde yeniden yapılandırılmasını zorlaştırmakta; bu da yol planlama süreçlerinin başarısız olmasına veya ciddi doğruluk kayıplarına yol açmaktadır.

Mevcut yol planlama çözümleri, yüzey geometrisinin üç boyutlu tarama yoluyla bilindiği, çevresel koşulların değişkenlik gösterebildiği ve işlemlerin ön işleme veya ayrıntılı kinematik kalibrasyon gerektirmeksizin gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmesinin beklendiği uyarlamalı ve yüksek verimli otomasyon uygulamaları için uygun olmamaktadır. Endüstride artan esneklik, hız ve uyarlanabilirlik ihtiyacı, üç boyutlu yüzeyler üzerinde kapsama yolu oluşturulmasına yönelik, mevcut tekniklerin sınırlamalarını aşabilecek yeni yaklaşımlara duyulan gereksinimi açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen tüm sorunlar, ilgili teknik alanda bir yenilik yapmayı zorunlu hale getirmiştir.

BULUŞUN KISA AÇIKLAMASI

Mevcut buluş yukarıda bahsedilen dezavantajları ortadan kaldırmak ve ilgili teknik alana yeni avantajlar getirmek üzere, bir yöntem ve sistem ile ilgilidir.

Buluşun bir amacı, üç boyutlu yüzeyler üzerinde robot manipülatörleri tarafından izlenecek kapsama yollarının üç boyutlu algılama verileri kullanılarak oluşturulmasını sağlayan bir yöntem ortaya koymaktır.

Buluşun bir diğer amacı, yüzey geometrisinin kısmi, gürültülü veya değişken olduğu durumlarda dahi, kapsama yolunun sürekliliğini ve yüzeyle uyumunu koruyacak şekilde, hesaplama açısından verimli ve uyarlanabilir bir kapsama yolu oluşturulmasını sağlayan bir yöntem ortaya koymaktır.

Yukarıda bahsedilen ve aşağıdaki detaylı anlatımdan ortaya çıkacak tüm amaçları gerçekleştirmek üzere mevcut buluş, bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistemde gerçekleştirilmek üzere bir yöntem ile ilgilidir. Buna göre yeniliği, bahsedilen üç boyutlu algılama birimi aracılığıyla, bahsedilen üç boyutlu yüzeye ilişkin çok sayıda noktayı içeren en az bir nokta bulutunun elde edilmesi, bahsedilen nokta bulutunun, uzamsal olarak filtrelenmesi ile kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi, bahsedilen filtrelenmiş nokta

bulutuna bağlı olarak bir sınırlayıcı alanın oluşturulması, bahsedilen sınırlayıcı alan içerisinde en az bir tarama tekniği ile iki boyutlu bir kapsama deseninin elde edilmesi, bahsedilen iki boyutlu kapsama desenindeki her bir ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutunda bahsedilen ara noktaya karşılık gelebilecek üç boyutlu noktaların aranması, arama sonucunda ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunması durumunda bahsedilen ara noktanın geçerli olarak belirlenmesi, ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunmaması durumunda ara noktanın geçersiz olarak belirlenmesi, geçerli olarak belirlenen ara noktalara karşılık gelen üç boyutlu noktaların, referans bir bağlantılılık yarıçapı içerisinde kümelenmesi ve her bir kümenin bir merkez nokta ile temsil edilmesi, bahsedilen merkez noktaların, en yakın-komşu yaklaşımı kullanılarak sıralanması, sıralanan her bir merkez nokta için, filtrelenmiş nokta bulutu içerisindeki komşu noktalar kullanılarak temel bileşenler analizi yöntemiyle yerel yüzey normalinin hesaplanması ve bahsedilen yerel yüzey normaline bağlı olarak bir yönelim bilgisinin üretilmesi, merkez noktalar ve yönelim bağlı olarak bahsedilen kapsama yolunun oluşturulması adımlarını içermesidir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasının özelliği, nokta bulutunun, uzamsal olarak filtrelenmesi ile kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi adımının, kapsama yolu oluşturulacak yüzey bölgesinin bir ilgi bölgesi (ROI) olarak seçilmesiyle kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi adımını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, filtrelenmiş nokta bulutuna bağlı olarak bir sınırlayıcı alanın oluşturulması adımının, filtrelenmiş nokta bulutunun bir XY düzlemine ortografik olarak projekte edilmesi ile oluşturulması adımını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, bahsedilen sınırlayıcı alan içerisinde en az bir tarama tekniği ile iki boyutlu bir kapsama deseninin elde edilmesi adımının, sınırlayıcı alan içerisinde, referans bir aralık parametresi kullanılarak boustrophedon ve/veya spiral tarama teknikleri ile iki boyutlu bir kapsama deseninin üretilmesi adımını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, bahsedilen iki boyutlu kapsama desenindeki her bir ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutunda bahsedilen ara noktaya karşılık gelebilecek üç boyutlu noktaların aranması adımının, iki boyutlu kapsama deseninde yer alan her bir iki boyutlu ara nokta için, bahsedilen iki boyutlu ara noktanın XY koordinatları etrafında bir yarıçap ve Z ekseni boyunca belirli bir yükseklik aralığı ile tanımlanan bir arama hacmi içerisinde gerçekleştirilmesi adımlarını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, bahsedilen sınırlayıcı alanın, bahsedilen filtrelenmiş nokta bulutunun XY düzlemine ortografik olarak projekte edilmesi ile elde edilen eksen hizalı bir sınırlayıcı dikdörtgen olmasıdır.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, oluşturulan kapsama yolunda yer alan her bir yol noktası için robot manipülatörüne ilişkin ters kinematik hesaplamalarının gerçekleştirilmesi ve her bir yol noktasına karşılık gelen en az bir eklem konfigürasyonunun belirlenmesi adımını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının, oluşturulan kapsama yolunda yer alan bir yol noktası için ters kinematik çözümünün başarısız olması durumunda, kapsama yolunun sürekliliğini korumak amacıyla, eklem uzayında ara eklem konfigürasyonlarının üretilmesi, üretilen ara eklem konfigürasyonlarının ileri kinematik hesaplamalar ile değerlendirilmesi, ileri kinematik hesaplamalar sonucunda elde edilen uç-efektör konum ve yönelim bilgilerinin, hedef konum ve yönelim için önceden belirlenmiş toleranslara göre karşılaştırılması, bahsedilen toleransları sağlayan uygun eklem konfigürasyonunun belirlenmesi, herhangi bir uygun eklem konfigürasyonunun elde edilememesi durumunda ise ilgili yol noktasının kapsama yolundan çıkarılması adımlarını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, yukarıdaki istemlerden herhangi birinde açıklanan yöntem adımlarının bir işlemci birimi tarafından gerçekleştirilmesidir.

Buluş ayrıca, bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistemde gerçekleştirilmek üzere bir sistem ile ilgilidir. Buna göre yeniliği; önceki istemlerde açıklanan yöntem adımlarını gerçekleştirmeye yarayan bir işlemci birimini içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, üç boyutlu algılama biriminin en az bir derinlik kamerasını içermesidir.

Buluşun mümkün bir diğer yapılanmasının özelliği, üç boyutlu algılama biriminin en az bir lidar içermesidir.

BULUŞUN DETAYLI AÇIKLAMASI

Bu detaylı açıklamada buluş konusu sadece konunun daha iyi anlaşılmasına yönelik hiçbir sınırlayıcı etki oluşturmayacak örneklerle açıklanmaktadır.

Buluş, bir üç boyutlu yüzey üzerinde, bir robot manipülatörü tarafından takip edilmek üzere en az bir kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamak üzere en az bir üç boyutlu algılama birimini içeren bir sistem ve bahsedilen sistemde gerçekleştirilmek üzere bir yöntem ile ilgilidir. Buluşun mümkün bir yapılanmasında bahsedilen kapsama yolu, robot manipülatörünün yüzey üzerinde gerçekleştireceği işlem sırasında, yüzeyin tamamının veya belirlenen bir bölümünün boşluk bırakılmaksızın işlenmesini sağlayacak şekilde tanımlanan, ardışık konumlar dizisini ifade etmektedir. Kapsama yolu, robot manipülatörünün yüzey üzerinde izleyeceği hareketin düzenini ve ilerleme biçimini belirleyen bir referans olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda bahsedilen yüzey işlemleri, taşlama, parlatma, kaplama veya benzeri yüzey işleme uygulamaları olabilmektedir. Bunun için kapsama yolunun, yüzey üzerinde gerçekleştirilecek işlemin niteliğine bağlı olarak belirli bir düzen, süreklilik ve kapsama bütünlüğü sağlaması amaçlanmaktadır. Özellikle taşlama, parlatma, kaplama veya benzeri yüzey işleme uygulamalarında, yüzeyin tamamının planlı biçimde işlenmesi, hem işlem süresinin verimli kullanılması hem de yüzey kalitesinin tutarlı olması açısından önem arz etmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında üç boyutlu algılama birimi, en az bir derinlik kamerasını içerebilmektedir. Derinlik kamerasının kullanılması, yüzeyin üç boyutlu geometrisinin, her bir algılama noktasına karşılık gelen mesafe bilgisi ile birlikte elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede, robot manipülatörünün etkileşimde bulunacağı yüzeye ilişkin uzamsal veriler, yüzeyin şekil ve konum özelliklerini temsil edecek biçimde sistem tarafından algılanabilmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında üç boyutlu algılama birimi, en az bir lidarı içerebilmektedir. Lidar kullanımı, yüzeyin uzamsal yapısının, lazer tabanlı mesafe ölçümleri aracılığıyla yüksek doğrulukta ve geniş bir algılama hacmi içinde tespit edilmesini sağlamaktadır. Bu sayede, özellikle daha büyük ölçekli veya karmaşık geometrilere sahip yüzeylerde, robot manipülatörünün çalışacağı alanın üç boyutlu verisi güvenilir biçimde elde edilebilmektedir.

Sistem, yöntem adımlarını gerçekleştirilmesini sağlamak için bir işlemci birimini içermektedir. Buluşun mümkün bir yapılanmasında bahsedilen işlemci birimi, bir CPU, bir GPU, bir mikroişlemci vb. olabilmektedir.

İşlemci birimi, üç boyutlu algılama birimi aracılığıyla, üç boyutlu yüzeye ilişkin çok sayıda noktayı içeren en az bir nokta bulutunun elde edilmesini sağlamaktadır. Bu aşamada, üç boyutlu algılama birimi tarafından algılanan mesafe ve konum bilgileri kullanılarak, yüzeyin

geometrik yapısını temsil eden çok sayıda uzamsal nokta elde edilmektedir. Elde edilen bu noktalar, her bir noktanın üç boyutlu uzaydaki konumunu ifade edecek şekilde bir araya getirilerek, yüzeye ait bir nokta bulutu oluşturulmaktadır.

İşlemi birimi, nokta bulutunun, uzamsal olarak filtrelenmesi ile kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesini sağlamaktadır. Bu adımda, elde edilen nokta bulutu içerisinden kapsama yolu oluşturulması hedeflenen yüzey bölgesine ait olmayan noktalar elenerek, ilgili yüzey kısmını temsil eden noktalar seçilmektedir. Böylece, kapsama yolunun oluşturulmasında kullanılacak veri kümesi, uzamsal olarak sınırlandırılmış ve yüzeye özgü hale getirilmiş bir filtrelenmiş nokta bulutu şeklinde elde edilmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesi için işlemci birimi, kapsama yolu oluşturulacak yüzey bölgesinin bir ilgi bölgesi (ROI) olarak seçilmesiyle kapsama yolu oluşturulacak bir yüzey bölgesine ilişkin filtrelenmiş nokta bulutunun elde edilmesini sağlayabilmektedir. Bahsedilen ilgi bölgesi, mevcut teknikte de bilindiği üzere özellikle görüntü işleme ve üç boyutlu algılama alanlarında, işlenecek verinin sadece belirli bir kısmının seçilerek değerlendirilmesini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, yüzeyin tamamının değil, işlem açısından anlamlı veya hedeflenen bölümünün ele alınmasına olanak tanıyarak, veri miktarının kontrol altında tutulmasını ve işlem süreçlerinin daha odaklı yürütülmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda ilgi bölgesi seçimi, kapsama yolu oluşturulması amaçlanan yüzey bölümünün belirlenmesine hizmet eden bir adım olarak uygulanmaktadır. Nokta bulutu içerisinden sadece bu ilgi bölgesine karşılık gelen noktaların dikkate alınmasıyla, kapsama yolunun yüzey üzerinde gereksiz alanlara taşmadan, doğrudan hedeflenen yüzey kısmı üzerinde oluşturulması mümkün hale gelmektedir. Böylece, kapsama yolunun yüzeye özgü, kontrollü ve amaca yönelik biçimde oluşturulmasına katkı sağlanmaktadır.

İşlemci birimi, filtrelenmiş nokta bulutuna bağlı olarak bir sınırlayıcı alanın oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu adımda, filtrelenmiş nokta bulutunun uzamsal yayılımı dikkate alınarak, kapsama yolu oluşturulacak yüzey bölümünü sınırlandıran bir alan tanımlanmaktadır. Söz konusu sınırlayıcı alan, kapsama yolunun hangi uzamsal sınırlar içinde üretileceğini belirleyerek, sonraki aşamalarda oluşturulacak kapsama deseninin yüzeyle tutarlı ve kontrollü bir biçimde oluşturulmasına temel teşkil etmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında sınırlayıcı alanın oluşturulması için işlemci birimi, filtrelenmiş nokta bulutunun bir XY düzlemine ortografik olarak projekte edilerek oluşturulmasını sağlamaktadır. Buna göre buluşun mümkün bir yapılanmasında sınırlayıcı alan, eksen hizalı bir sınırlayıcı dikdörtgen olabilmektedir. Yüzeye ait üç boyutlu noktaların XY

düzlemine ortografik olarak aktarılmasıyla, yüzeyin üstten görünümünü temsil eden iki boyutlu bir izdüşüm elde edilmektedir. Bu izdüşüm üzerinden tanımlanan eksen hizalı sınırlayıcı dikdörtgen, kapsama yolunun üretileceği alanın yatay düzlemde net ve basit bir biçimde sınırlandırılmasını sağlamaktadır. Böylece, kapsama deseninin oluşturulmasında kullanılacak alan, yüzeyin karmaşık üç boyutlu geometrisinden bağımsız olarak, düzenli ve hesaplanabilir bir çerçeve içerisinde belirlenmiş olmaktadır.

İşlemci birimi, sınırlayıcı alan içerisinde en az bir tarama tekniği ile iki boyutlu bir kapsama deseninin elde edilmesini sağlamaktadır. Bahsedilen kapsama deseni, sınırlayıcı alanın tamamının düzenli ve sistematik biçimde ele alınmasını sağlayacak şekilde tanımlanan, ardışık iki boyutlu ara noktalardan oluşan bir tarama düzenini ifade etmektedir. Söz konusu adımda, kapsama deseninin oluşturulmasıyla, yüzey üzerinde izlenecek kapsama yolunun geometrik iskeleti iki boyutlu düzlemde belirlenmiş olmakta ve bu iskelet, sonraki aşamalarda üç boyutlu yüzeye uyarlanacak bir referans yapı oluşturmaktadır.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında işlemci birimi, sınırlayıcı alan içerisinde, referans bir aralık parametresi kullanılarak boustrophedon ve/veya spiral tarama teknikleri ile kapsama deseninin elde edilmesini sağlayabilmektedir. Bahsedilen referans aralık parametresi, kapsama desenini oluşturan ardışık tarama geçişleri veya ara noktalar arasındaki mesafeyi tanımlayan bir parametreyi ifade etmekte ve yüzeyin ne kadar sık veya seyrek taranacağını belirlemektedir. Bu parametre, uygulanacak işlemin türüne, kullanılan robotun uç efektörün boyutuna ve istenen yüzey işleme hassasiyetine bağlı olarak ayarlanabilmektedir. Boustrophedon tarama tekniği, sınırlayıcı alanın paralel doğrular boyunca ileri–geri hareketlerle taranmasına dayalı olup, alanın sistematik ve boşluk bırakılmadan kapsanmasını sağlamaktadır. Boustrophedon tarama tekniği, teknikte iyi bilindiği için burada daha fazla detay verilmemiştir. Spiral tarama tekniği ise, alanın merkezinden dışa doğru veya dıştan merkeze doğru sürekli bir ilerleme düzeni oluşturarak, özellikle kesintisiz ve akıcı bir kapsama deseni elde edilmesini sağlamaktadır. Spiral tarama tekniği, teknikte bilindiği için burada daha fazla detay verilmemiştir. Bu tekniklerin kullanılmasıyla, kapsama deseninin yüzey üzerinde düzenli, tekrar içermeyen ve kapsama bütünlüğü sağlayacak biçimde tanımlanması mümkün hale gelmektedir.

İşlemci birimi, iki boyutlu kapsama desenindeki her bir ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutunda bahsedilen ara noktaya karşılık gelebilecek üç boyutlu noktaların aranmasını sağlamaktadır. Bahsedilen ara nokta, iki boyutlu kapsama deseni içerisinde, kapsama yolunun ilerleyişini tanımlamak üzere belirlenen ve kapsama desenini oluşturan ardışık konumlardan her birini ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle bu ara noktalar, kapsama yolunun yüzey üzerinde

hangi sıra ve düzenle ilerleyeceğini belirleyen referans konumlar olarak kullanılmaktadır. Bu aşamada, iki boyutlu kapsama deseninde yer alan her bir ara nokta, üç boyutlu yüzey üzerinde karşılık gelen konumun belirlenebilmesi amacıyla referans alınmaktadır. Söz konusu ara nokta için, filtrelenmiş nokta bulutu içerisinde geometrik olarak ilişkilendirilebilecek üç boyutlu noktalar araştırılmakta ve böylece iki boyutlu düzlemde tanımlanan kapsama deseninin, yüzeyin üç boyutlu geometrisi ile ilişkilendirilmesine yönelik bir eşleme gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında üç boyutlu noktaların aranması için işlemci birimi, iki boyutlu kapsama deseninde yer alan her bir iki boyutlu ara nokta için, bahsedilen iki boyutlu ara noktanın XY koordinatları etrafında bir yarıçap ve Z ekseni boyunca belirli bir yükseklik aralığı ile tanımlanan bir arama hacmi içerisinde gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda tanımlanan arama hacmi, iki boyutlu ara noktanın üç boyutlu yüzey üzerindeki olası karşılığının belirlenmesini kolaylaştıran, uzamsal olarak sınırlandırılmış bir bölgeyi ifade etmektedir. XY düzleminde belirlenen yarıçap, ara noktanın yatay düzlemdeki konumsal yakınlığını esas alırken, Z ekseni boyunca tanımlanan yükseklik aralığı, yüzeyin derinlik yönündeki olası konumlarını kapsayacak şekilde belirlenmektedir. Böylece, iki boyutlu kapsama deseninde tanımlanan her bir ara nokta için, yüzey geometrisiyle tutarlı üç boyutlu noktaların kontrollü ve hedefe yönelik biçimde aranması mümkün hale gelmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında arama hacmi, geometrik olarak silindirik bir arama hacmi olabilmektedir. Silindirik arama hacmi, iki boyutlu ara noktanın XY düzlemindeki konumu merkez alınarak belirlenen bir yarıçap ile, Z ekseni boyunca tanımlanan bir yükseklik aralığının birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu sayede, ara noktanın yatay konumuna yakın ve yüzeyin derinlik yönündeki olası karşılıklarını kapsayan üç boyutlu noktaların, yüzey geometrisiyle tutarlı ve kontrollü biçimde aranması mümkün hale gelmektedir.

İşlemci birimi, arama sonucunda ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunması durumunda bahsedilen ara noktanın geçerli olarak belirlenmesi, ara noktaya karşılık gelen bir üç boyutlu nokta bulunmaması durumunda ara noktanın geçersiz olarak belirlenmesini sağlamaktadır. Bu adımda, iki boyutlu kapsama deseninde yer alan her bir ara nokta için gerçekleştirilen arama işleminin sonucu değerlendirilmekte ve ara noktanın yüzey üzerinde anlamlı bir karşılığı olup olmadığı belirlenmektedir. Arama hacmi içerisinde yüzey geometrisiyle ilişkilendirilebilecek en az bir üç boyutlu noktanın tespit edilmesi durumunda, ilgili ara nokta kapsama yolu açısından kullanılabilir kabul edilmektedir. Buna karşılık, herhangi bir üç boyutlu nokta ile ilişkilendirilemeyen ara noktalar kapsama yolunun oluşturulmasında dikkate alınmamaktadır.

İşlemci birimi, geçerli olarak belirlenen ara noktalara karşılık gelen üç boyutlu noktaların, referans bir bağlantılılık yarıçapı içerisinde kümelenmesi ve her bir kümenin bir merkez nokta ile temsil edilmesini sağlamaktadır. Bahsedilen bağlantılılık yarıçapı, teknikte iyi bilinmekte ve yüzey üzerinde birbirine yakın konumlanan üç boyutlu noktaların aynı yerel yüzey parçasını temsil edecek şekilde gruplanmasını sağlayan mesafe ölçütü olarak kullanılmaktadır. Geçerli olarak belirlenen üç boyutlu noktalar, birbirlerine olan konumsal yakınlıkları esas alınarak, belirlenen bağlantılılık yarıçapı içerisinde gruplandırılmaktadır. Bu gruplandırma sayesinde, yüzey üzerinde aynı yerel bölgeyi temsil eden çok sayıda nokta tek bir küme altında toplanmakta ve her bir küme, söz konusu bölgeyi temsil eden bir merkez nokta ile özetlenmektedir. Böylece, kapsama yolunun oluşturulmasında kullanılacak noktalar daha düzenli, sadeleştirilmiş ve yüzey geometrisini temsil edecek biçimde yapılandırılmaktadır.

İşlemci birimi, merkez noktaların, en yakın-komşu yaklaşımı kullanılarak sıralanmasını sağlamaktadır. Kümeleri temsil eden merkez noktalar arasındaki konumsal ilişkiler dikkate alınarak, merkez noktalar birbiriyle en yakın olanlardan başlanacak şekilde ardışık olarak düzenlenmektedir. En yakın-komşu yaklaşımı sayesinde, kapsama yolunun yüzey üzerinde ani sıçramalar içermeden, sürekliliği korunmuş ve yerel yüzey yapısına uyumlu bir biçimde ilerlemesi sağlanmaktadır. Böylece, kapsama yolunu oluşturan noktalar arasında düzenli ve takip edilebilir bir sıralama elde edilmektedir. Buluşun mümkün bir yapılanmasında merkez noktaların sıralanması işlemi, önceden belirlenmiş bir maksimum mesafe kısıtı altında gerçekleştirilmektedir. Bahsedilen mesafe kısıtı, sıralama sırasında ardışık olarak bağlanacak merkez noktalar arasındaki en büyük izin verilebilir uzaklığı tanımlayarak, kapsama yolunun yüzey üzerinde gerçekçi ve sürekliliği korunmuş bir şekilde ilerlemesini sağlamaktadır. Bu sayede, en yakın-komşu yaklaşımı uygulanırken, yüzey üzerinde ani sıçramalar veya yüzey geometrisiyle uyumsuz bağlantılar oluşmasının önüne geçilmektedir.

İşlemci birimi, sıralanan her bir merkez nokta için, filtrelenmiş nokta bulutu içerisindeki komşu noktalar kullanılarak temel bileşenler analizi yöntemiyle yerel yüzey normalinin hesaplanması ve bahsedilen yerel yüzey normaline bağlı olarak bir yönelim bilgisinin üretilmesini sağlamaktadır. Her bir merkez noktanın çevresinde yer alan komşu üç boyutlu noktalar esas alınarak, yüzeyin o noktadaki yerel geometrik yönelimi belirlenmektedir. Temel bileşenler analizi yöntemi teknikte bilinmekte ve bahsedilen komşu noktaların uzamsal dağılımını istatistiksel olarak değerlendirerek, yüzeyin o bölgede baskın doğrultusunu temsil eden yerel yüzey normalinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Hesaplanan bu yerel yüzey normaline bağlı olarak türetilen yönelim bilgisi ise, kapsama yolunun yüzey geometrisiyle uyumlu olacak şekilde yönlendirilmesini sağlayan bir referans oluşturmaktadır. Bu kapsamda, hesaplanan

yerel yüzey normaline bağlı olarak türetilen yönelim bilgisi, üç boyutlu uzayda yönelimin sürekli ve tekil olmayan bir biçimde temsil edilebilmesi amacıyla birim kuaterniyon kullanılarak ifade edilebilmektedir. Kuaterniyon temsili, kapsama yolu boyunca ardışık yönelimler arasında sayısal kararlılığın korunmasını sağlayarak, robot manipülatörünün yüzey üzerinde akıcı ve kesintisiz bir hareket gerçekleştirmesini sağlamaktadır. (Birim kuaterniyon teknikte bilindiği için burada daha fazla detay verilmemiştir.) Buluşun mümkün bir yapılanmasında yüzey normalinin belirlenmesi amacıyla merkez noktanın çevresinde yer alan komşu noktalar kullanılarak teknik bilinen kovaryans matrisinin hesaplanmasıyla belirlenebilmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında filtrelenmiş nokta bulutu içerisindeki üç boyutlu noktalar üzerinde hızlı komşuluk sorgulamalarının gerçekleştirilebilmesi amacıyla, noktaların konumsal özelliklerine göre yapılandırılmış k-boyutlu bir uzamsal indeksleme veri yapısı kullanılmaktadır. Bu yapı sayesinde, iki boyutlu ara noktanın çevresinde tanımlanan arama hacmi içerisinde kalan aday üç boyutlu noktalar, tüm nokta bulutu taranmaksızın etkin bir biçimde tespit edilebilmektedir.

İşlemci birimi, merkez noktalar ve yönelim bağlı olarak bahsedilen kapsama yolunun oluşturulmasını sağlamaktadır. Sıralanmış merkez noktalar ile bu noktalara karşılık gelen yönelim bilgileri birlikte değerlendirilerek, robot manipülatörünün yüzey üzerinde izleyeceği kapsama yolu tanımlanmaktadır. Oluşturulan kapsama yolu, her bir konumda yüzeyin yerel geometrisiyle uyumlu bir ilerleme sağlayacak şekilde, konum ve yönelim bilgisini birlikte içeren ardışık yol noktalarından oluşmaktadır. Böylece, kapsama yolu robot manipülatörünün yüzey üzerinde planlı, sürekli ve yüzeyle uyumlu bir hareket gerçekleştirmesini sağlayan bir yol yapısı haline gelmektedir.

Merkez noktalar ve bunlara karşılık gelen yönelim bilgileri kullanılarak oluşturulan kapsama yolu, ardışık yol noktaları arasındaki geçişlerin sürekliliğini artırmak amacıyla enterpolasyon yöntemleri kullanılarak yumuşatılabilmektedir. Bu kapsamda, yol üzerindeki ayrık noktalar arasında hesaplanan ara noktalar sayesinde, kapsama yolu tek ve sürekli bir hale getirilmekte ve robot manipülatörünün yüzey üzerinde ani konum veya yönelim değişimleri olmaksızın akıcı bir hareket gerçekleştirmesi sağlanmaktadır.

Sonuç olarak yukarıda anlatılan yöntem ve sistem ile üç boyutlu yüzeyler üzerinde kapsama yolu oluşturma süreci, önceden hazırlanmış CAD modellerine, parametrik yüzey temsillerine veya üçgenlenmiş ağ yapılarına ihtiyaç duyulmaksızın gerçekleştirilebilmektedir. Nokta bulutu temelli yapısıyla, yüzey geometrisinin doğrudan algılama verileri üzerinden ele alınmasına olanak tanıyarak, yüzeyin kısmi, gürültülü veya eksik biçimde tarandığı durumlarda dahi

kapsama yolunun oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Bu durum, yüzey yeniden yapılandırma veya kapsamlı ön işleme adımlarının ortadan kaldırılmasını sağlayarak, hesaplama yükünün ve bellek gereksiniminin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, kapsama yolunun iki boyutlu bir kapsama deseni üzerinden oluşturulması ve üç boyutlu yüzeyle ilişkilendirilmesi, yolun sürekliliğini ve yüzeyle uyumunu artırmaktadır. Yerel yüzey geometrisine dayalı yönelim bilgisinin kullanılması ve yolun enterpolasyon ile yumuşatılması, robot manipülatörünün yüzey üzerinde akıcı, kararlı ve tekrarlanabilir bir hareket gerçekleştirmesine imkan tanımaktadır. Bu özellikler, buluşun farklı robot platformlarına uyarlanabilirliğini artırırken, gerçek zamanlı veya uyarlamalı otomasyon gerektiren endüstriyel uygulamalarda yüksek verimlilik ve uygulama esnekliği sağlamaktadır.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında oluşturulan kapsama yolunun, robot manipülatörü tarafından takip edilebilir bir yörüngeye dönüştürülmesi amacıyla, her bir kapsama yolu noktasında ters kinematik hesaplamaları gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda, kapsama yolunu oluşturan her bir yol noktası için ilgili konum ve yönelim bilgilerini sağlayacak en az bir eklem konfigürasyonunun belirlenmesi sağlanmaktadır. Bahsedilen eklem konfigürasyonu, robot manipülatörünün her bir eklemine ait açı, konum veya benzeri hareket parametrelerinin birlikte oluşturduğu durumu ifade etmektedir. Başka bir deyişle, eklem konfigürasyonu, robot manipülatörünün belirli bir anda aldığı fiziksel duruşu tanımlamaktadır. Ters kinematik hesabı, robotun uç-efektörünün hedeflenen konum ve yönelime ulaşabilmesi için, robotun eklemlerinin hangi değerlerde olması gerektiğini belirlemeye yönelik geometrik ve sayısal bir hesaplamayı ifade edebilmektedir. Ters kinematik hesaplamaları teknikte bilindiğinden burada daha fazla detay verilmemiştir. Ters kinematik hesaplamaları sırasında, robot manipülatörüne ait eklem sınırları, tekillik durumları ve olası çarpışma kısıtları dikkate alınabilmektedir. Buluşun mümkün bir yapılanmasında, ters kinematik hesaplamalarının gerçekleştirilmesi sırasında, robot manipülatörüne ait ileri kinematik ilişkileri temsil eden Jacobian matrisi kullanılabilmektedir. Bu kapsamda Jacobian matrisi, uç-efektörün konum ve yönelimindeki değişimlerin eklem uzayındaki değişimlerle ilişkilendirilmesini sağlamak amacıyla kullanılabilmektedir. Jacobian tabanlı yaklaşımlar, özellikle ters kinematik çözümünün sayısal yöntemlerle elde edildiği durumlarda, eklem uzayındaki küçük değişimlerin uç-efektör uzayına etkisinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında, belirli bir kapsama yolu noktası için ters kinematik çözümünün başarısız olması durumunda, kapsama yolunun bütünlüğünün korunması amacıyla onarım işlemleri uygulanabilmektedir. Bu durumda, söz konusu yol noktasından önce başarıyla elde edilmiş en son geçerli eklem konfigürasyonu ile kapsama yolu üzerinde daha ileride yer alan ve ters kinematik çözümü başarıyla elde edilebilen en yakın yol noktasına

karşılık gelen eklem konfigürasyonu belirlenebilmektedir. Bu iki geçerli eklem konfigürasyonu arasında, eklem uzayı içerisinde enterpolasyon yapılarak ara eklem konfigürasyonları türetilebilmektedir. Buluşun mümkün bir yapılanmasında, eklem uzayında gerçekleştirilen enterpolasyon sonucunda elde edilen ara eklem konfigürasyonları, belirli örnekleme aralıklarıyla değerlendirilerek, her bir ara konfigürasyon için ileri kinematik hesaplamaları yapılabilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen uç-efektör konum ve yönelim bilgileri, kapsama yolunda hedeflenen konum ve yönelim değerleri ile karşılaştırılmakta ve önceden tanımlanmış konum ve yönelim toleranslarını sağlayan ilk uygun ara konfigürasyon kabul edilmektedir. Böylece, kapsama yolunun geometrik niyeti korunarak, robot manipülatörü için uygulanabilir bir yol parçası elde edilebilmektedir.

Buluşun mümkün bir yapılanmasında, eklem uzayında gerçekleştirilen enterpolasyon ve uygunluk kontrollerine rağmen, belirli bir kapsama yolu noktasına karşılık gelen herhangi bir uygulanabilir eklem konfigürasyonu elde edilememesi durumunda, söz konusu yol noktası kapsama yolundan çıkarılabilmektedir. Bu durumda, kapsama yolunun geri kalan kısmı korunarak, robot manipülatörünün yüzey üzerinde mümkün olan en geniş alanı kesintisiz biçimde işlemesi sağlanmaktadır. Böylece, yerel olarak ulaşılamayan bölgelerin kapsama yolunun tamamını geçersiz kılması önlenmektedir. Bu yaklaşımlar sayesinde, kapsama yolunun yüzey üzerindeki kapsama bütünlüğü korunurken, robot manipülatörünün fiziksel kısıtları ile uyumlu bir hareket gerçekleştirmesi sağlanmaktadır.

Buluşun koruma kapsamı ekte verilen istemlerde belirtilmiş olup kesinlikle bu detaylı anlatımda örnekleme amacıyla anlatılanlarla sınırlı tutulamaz. Zira teknikte uzman bir kişinin, buluşun ana temasından ayrılmadan yukarıda anlatılanlar ışığında benzer yapılanmalar ortaya koyabileceği açıktır.