

Griepentrog, Hans Werner, B. Simon Blackmore, and Stravros G. Vougioukas. 2006. Section 4.2 Positioning and Navigation, pp. 195-204 of Chapter 4 Mechatronics and Applications, in CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology. Edited by CIGR-The International Commission of Agricultural Engineering; Volume Editor, Axel Munack. St. Joseph, Michigan, USA: ASABE. Copyright American Society of Agricultural Engineers.

Çevirmen: Servet YAPRAK

Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN

4.2 Konum Belirleme ve Navigasyon

Yazarlar: H. W. Griepentrog, B. S. Blackmore ve S. G. Vougioukas

Çevirmen: Servet YAPRAK

Özet: Bu bölüm tarımsal araçların konumunun belirlenmesi ve navigasyonu alanındaki son gelişmelerden bazılarını kapsamaktadır. Bir aracın güvenilir bir şekilde mutlak veya görelî konum belirlemesi manuel ve otomatik dümenleme sistemi için temel bir gereklilik ve otonom (bağımsız) sistemlerin navigasyonu için temel gereksinimdir. Ayrıca, bir tarım aracı arazide tarımsal işleri yürütürken başarılı olabilmek için birkaç navigasyon modu sergileyebilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Konum belirleme, Mutlak konum belirleme, Görelî konum belirleme, Sensör birleştirme, Navigasyon, Navigasyon modları

4.2.1 Giriş

Tarımsal ortamda araç navigasyon işlemi için özel karakteristikler görünür. Bu ortam bir laboratuvar veya kapalı ortam aracının karşılaştığından farklı koşullar kümesi sunar. Bir dizi ilave güçlkle karşılaşılır [1]:

- Çalışma alanları geniş ve coğrafi olarak ayrılmış olabilir;
- Zemin yüzeyleri değişen çekiş şartları ile uyumlu olmayabilir;
- Çalışma alanına bağlı olarak, tekerlek kayması ihmal edilmeyebilir;
- Çevresel koşullar (yağmur, sis, toz, vb) sensör gözlemlerini etkileyebilir;
- Düşük maliyetli sistemler gereklidir.

Neyse ki, tarımsal işlemler yarı doğal ortamlarda yapılır; bir çiftlik genellikle sınırları bilinen alanlarla ve genellikle belirli yapılar halinde düzenlenmiş bitkisel alanları ile tanımlanabilir (örneğin, düzenlenmiş bitki sıraları ve desenleri). Bu ön bilgi, konum belirleme ve navigasyon görevini geliştirmek için kullanılabilir ve araç performansını genellikle artırır [2].

Bir traktörün mutlak veya görelî konumu manuel navigasyon ve otomatik dümenleme ve otonom araçların navigasyonu için en temel gereksinimdir. Tarımda mülkiyet ölçme ve hassas tarım gibi uygulamalar, ayrıca konum bilgisine dayanır. Tüketici güvenini arttırmak için dokümantasyon ve izlenebilirlikli gıda güvenliği

öğeleri yüzünden ve daha sonra gelen izlemeye izin verdiğinden üretim süreçlerinin geodezik referanslı izlenmesi, bugün daha da önemli hale gelmektedir.

Konum belirlemek için iki yol vardır. Birinci yol (UTM veya WGS84 gibi bir harita projeksiyonu gibi) bir mutlak koordinat sistemi kullanmak ve konumu bu sabit ağda tanımlamaktır. İkinci yol görelî koordinat sistemi kullanmaktır. Bu, genellikle bir traktörün konum ve yönelimine göre değişir. Her iki yol da ortogonal kartezyen eksenleri kullanır ama navigasyon yöneticisi (bir noktanın hareket ve konumunu yöneten) ya kartezyen (x ve y veya doğu ve kuzey) ya da vektör (modüller ve kanıt veya yön ve mesafe)dür.

Ayrıca, konum belirleme işlemlerinde bilinmeyen konumu belirlemek için trilaterasyon ve nirengi denilen iki ana işlem vardır. Trilaterasyon yöntemi kullanılarak bir aracın konumu, bilinen noktalara mesafe ölçümleri ile belirlenir. Trilaterasyon navigasyon sistemlerinde çevredeki bilinen konumlara yerleştirilmiş üç veya daha fazla verici ve bir gezici alıcı bulunmaktadır. GPS (Global Positioning Systems) mutlak konumlandırma ile trilaterasyona bir örnektir. Nirengi yönteminde üç veya daha fazla aktif verici bilinen yerlere monte edilmiştir. Dönen bir sensör aracın gövdesindedir, araç sanal hat ile verici işaretleri arasındaki açıyı ve aracın uzunlamasına eksenine mesafeyi ölçer. Bilinmeyen x ve y koordinatları ve bilinmeyen aracın yönü bu açı ve mesafe ölçümlerine dayanarak hesaplanabilir.

4.2.2 Konum Belirleme

Mutlak Konum Belirleme

Mutlak konum belirleme yönteminin en yaygın biçimi, yörüngedeki uyduların bilinen konumları arasında mesafeleri kullanan bir uzay tabanlı mikrodalga konumlandırma sistemi olan Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS, Global Navigation Satellite System)'dir. GNSS dünyanın herhangi bir yerinde, yer yüzeyine yakın bir kullanıcı için 24 saat üç boyutlu konum, hız ve zaman bilgilerini sağlayan bir sistemdir. Günümüzde mevcut iki sistem bulunmaktadır. Bunlar; GPS (NAVSTAR GPS Joint Program Office tarafından işletilen, <http://gps.losangeles.af.mil>) ve GLONASS (Global Orbiting Navigation Satellite System, Rusya Federasyonu tarafından işletilmektedir) tır. 2003 yılında Avrupa Komisyonu 2014 yılında tam olarak hizmete girecek olan Avrupa GNSS (GALILEO, http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/intro/future_en.htm)' yi kurmaya karar vermiştir.

Bugün GPS sistemi en yaygın olarak kullanılan GNSS sistemidir. GPS; uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcılardan oluşmaktadır. GPS Uzay bölümü yörüngedeki en az 24 uydudan oluşur.

GPS uyduları 1,57542 (L1) GHz ve 1,22760 GHz (L2) frekanslarda iki L-band taşıyıcı frekans yayar. L1 sinyalinin, bir hassas (P) kodu ve bir de kaba (C/A) kodu içeren kodlanmış bir kod dizini vardır. L2 taşıyıcı fazı sadece askeri ve sivil yetkili kullanıcılar için şifreli P kodu içerir. Ticari GPS alıcıları L1 sinyali ve C/A kodu

kullanılmaktadır. P kod kullanıcıları yermerkezli konumlarını bir tek el uydu alıcısı ile yaklaşık 5 m hassasiyetle bulurlar.

Askerler tarafından şifrelenmiş olan P kod sadece yetkilendirilmiş kullanıcılar tarafından kullanılabilir. Bunun sonucu olarak sivil kullanıcılar P-kodları kullanamazlar. Seçici Kullanılabilirlik (SA, Selective Availability), tek GPS alıcılarının konumsal doğruluğunu % 95 düzeyinde yatayda 100 m ve düşeyde 156 m olarak sınırlamaktaydı. 2 Mayıs 2000 tarihinde SA kapatılmış, % 95 seviyesinde yatay doğruluk yaklaşık 5-25 m ye ulaşmıştır.

Diferansiyel GPS (DGPS)

Diferansiyel konum belirleme (DGPS, Differential GPS) ya sonradan işlenerek ya da gerçek zamanlı yapılabilir. Birincisi daha az pahalı ve basittir, ikincisi bir radyo bağlantısına gereksinim duyulduğu için daha karmaşık ve pahalıdır. Diferansiyel düzeltmeler ölçüm düzeltmeleri veya pozisyon düzeltmeleri şeklinde olabilir. Referans istasyonu olarak kullanılacak bir noktanın her iki yaklaşımda da koordinatları bilinmelidir ve mevcut olmalıdır. Referans noktasından uzaklaştıkça hata daha fazla olacak ve diferansiyel teknikler kullanılarak konum belirleme doğruluğu daha az olacaktır.

Post processing diferansiyel konum belirleme uygulamasında, sabit ve gezici yapılan gözlemler konum belirleme hesapları için bir bilgisayarda birleştirilir. Gezici ve sabitin gözlem zamanları eşleştirilerek eşzamanlı gözlemler oluşturulur ve algoritmalar kullanılarak uygun diferansiyel düzeltmeler hesaplanır.

DGPS dinamik durumlarda birkaç metre hassasiyetle, hatta sabit iken daha iyi konumsal veri sağlayabilir. Bu gelişme bir veri kaynağı olarak GPS üzerinde önemli bir etkiye sahiptir: GPS, yalnızca tekne ve uçak için kaba navigasyon için kullanılmamalıdır. GPS çok hassas bir ölçekte konum belirleme kapasitesi ile evrensel bir ölçme sistemi yeteneğine sahiptir.

Gerçek zamanlı DGPS konumu bilinen bir kontrol noktasını baz istasyonu olarak kullanır ve onun bilinen konumu ile hesaplanan konumu arasında farkları sürekli hesaplar. Daha sonra radyo vericileri ve diğer uydular üzerinden bu düzeltme bilgilerini gönderir. Kullanıcının GPS alıcısı, uydular tarafından dağıtılan düzeltme bilgisini okuyabilen bir radyo alıcısı veya GPS alıcısına sahip olmaya ihtiyacı vardır ve 1 veya 2 saniye önce kaydedilen konum bilgilerini düzeltmelidir. Sistem 2 ile 5 m doğrulukla gerçek zamanlı konum bilgisi sağlayabilir. Gerçek zamanlı GPS sistemlerinin bir dezavantajı, referans noktasında bir ölçüm yapıldığında ölçü anındaki düzeltmeyi geziciye göndermek için geçen zaman gecikmesidir. Bu hata tabii ki post-processing modda olmayacaktır. GNSS sisteminin performans gereksinimlerini geliştirmek için kullanıcılara diferansiyel düzeltme iletimi sağlayacak çeşitli uydu tabanlı destek sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar geniş alanları kapsamakta ve veri alıcı genellikle GPS alıcısının içerisine entegre edilmektedir. Bu tip güçlendirme sistemi Avrupa Yerdurağan Navigasyon Kaplama Servisini

(EGNOS, Geostationary Navigation Overlay Service) içerir. Bu Avrupa'nın uydu navigasyon sistemine ilk adımıdır. EGNOS askeri kontrollü GPS ve GLONASS sistemlerini tamamlayacaktır. EGNOS düzeltme verileri mevcut hizmetlerin yaklaşık 20 m olan doğruluğunu 5 m den daha aza düşüreceklerdir. EGNOS'un kapsama alanı tüm Avrupa devletlerini içine almakta ancak bu kapsam Avrupalı olmayan bölgeleri alacak şekilde arttırılabilmektedir. 2009 başından itibaren EGNOS altyapısı Galileo sistemine entegre edilecektir. Kuzey Amerika benzer bir sistem olan WAAS (Wide Area Augmentation System, Geniş Alan Güçlendirme Sistemi) a sahip iken, Japonya' ise MSAS (Multifunctional Transport Satellite Space-based Augmentation System "Çok Fonksiyonlu Ulaşım Uydu Tabanlı Uzay Güçlendirme Sistemi) ne sahiptir.

Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (RTK GPS)

Taşıyıcı faz GPS konum belirleme santimetre ölçeğinde konumsal doğruluk sağlayabilen bir yöntemdir. RTK GPS özellikle ölçme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu alıcılar kod tabanlı el GPS alıcıları ile karşılaştırıldığında çok daha karmaşık ve pahalıdır. RTK GPS tekniği hızla pratik ve bilimsel amaçlarla kullanılan santimetre doğrulukla ölçme ve navigasyon yapma aracı haline gelmiştir.

Uydusallar (Pseudolites)

GPS uydusallar veya sahte (pseudo) uydular lokal alanlarda GPS'in aynı sinyallerini ileten yer tabanlı vericileridir. GPS uydusallar üç ana yoldan GPS'le konum belirlemeye yardımcı olabilirler [3, 4]. Birinci olarak, GPS doğal uydu kapsamasının yetersiz olduğunda çeşitli ilave mesafe kaynakları sağlayarak GPS uydu kümesini arttırmak için kullanılabilir. İkincisi, uydusallar hassas konum belirleme için taşıyıcı faz diferansiyel GPS (CDGPS) kullanıldığında, taşıyıcı faz belirsizlik çözünürlüğünde yardımcı olarak kullanılabilir. Üçüncü, uydusallar tamamen GPS uydu kümesi yerine kullanılabilir. Bu genellikle, GPS'in kapalı alanlarda konum belirlemede kullanımı veya dünya dışı yerlerdeki (örneğin, Mars'ta bir araç konumlandırma) konum belirlemelerinde söz konusudur [3].

Bağlı Konum Belirleme

"Parekete hesabı" belirli bir zaman süresi boyunca bilinen rota ve hız bilgileri ile önceki konum bilgileri kullanılarak aracın mevcut yerinin belirlenmesi için matematiksel bir işlemdir. Göreli konum belirleme genel olarak "parekete hesabını ifade eder çünkü her zaman bilinen pozisyonlardan önceki pozisyonu ve bağıllığı ifade eder. Odometri kapalı alanlarda mobil robotlarda çok yaygın olarak kullanılan bağlı konum belirleme yöntemidir.

Biriken hata özellikleri nedeniyle sadece kısa süreli navigasyon işlerinde kullanılır. O tekerlek dönme ve/veya zaman içinde dümenleme yönlendirme ile artan hareket bilgilerinin entegrasyonudur. Bu alanda birçok makale ve yürütülen kapsamlı

araştırmaların mevcut olduğu görölmektedir [5]. Açık alan uygulamalarında konum bilgisinde ortaya çıkan genellikle kabul edilmez hatalara katkı yapan birçok problem meydana gelir. Dış mekan uygulamalarında hatalar çoğunlukla tekerlek kayması ve 3 boyutlu konum belirleme nedeniyle ortaya çıkar.

Ataletsel ölçüm birimleri (IMU, Inertial Measuring Units) ivme ve dönmeyi belirlemek için jiroskoplar ve ivmeölçerler kullanır. Bu ölçüm verilerine dayanarak yön ve mevcut konum, ölçmenin başladığı konumu bilinen bir önceki noktaya göre hesaplanabilir. Dış mekan uygulamaları için IMU'lar genellikle aracın dünyanın manyetik alanına göre yönlendirmesini ölçen elektronik pusulalar ile güçlendirilir. IMU'lar entegre olduklarında yüksek konum belirleme hassasiyetine ulaşırlar ancak hala pahalıdırlar.

Referanslı Konum Belirleme

Yer işaretleri sensör tarafından algılanabilecek belirgin özelliklerdir. İşaretler geometrik şekilli olabilir ve desenler gibi ek bilgiler içerebilir. Yer işaretleri bir aracın kendini bağıl olarak lokalize edebilmesi için sabit ve bilinen bir konuma sahiptir. Bir aracın navigasyon için yer işaretlerini kullanmasından önce, simgesel özelliklerinin bilinmesi ve kontrolör (denetleyici) hafızasına depolanması gerekir. Hesaplanan araç konumunun doğruluğu, yer işaretlerinin güvenilir işaretler olmasına ve nasıl tanınacağına ve lokalizasyon için nasıl kullanılacağına bağlıdır.

Yapay ve doğal işaretler olmak üzere iki türlü yer işareti vardır. Terimler aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [6].

- Doğal yer işaretleri* ortamda zaten varolan ve mevcut başka işlevlerine ilave olarak araç navigasyonu işlevleri de olan işaretlerdir [7]
- Yapay yer işaretleri* tek amacı konum belirlemek için özel olarak tasarlanmış obje veya işaretlerdir.

Açık doğal yer işareti navigasyonunda, algılama ve sensör girdileri arasından karakteristik özelliklerin eşleşmesi önemli bir sorundur. Bu görev için en uygun sensör türü bilgisayarla görmedir. Bugün ürün sıraları, tarımda navigasyon amaçları için tipik bilgisayar görme tabanlı doğal yer işaretleridir. Bugün diğer tanınan bir ortak özellik, lazer tarayıcı tabanlı bir yakınlık sensörü tarafından algılanan ürün kenarlarıdır (Bölüm 4.3' bakılabilir). Bu özelliklere dayanan otomatik işlemler, sıra arası çapalama ve biçerdöverin dümenlemesidir.

Yapay yer işareti konum belirleme, çalışma alanının etrafına yerleştirilmiş üç veya daha fazla dedektörlü basit bir yapılandırma kullanır. Araca monte edilmiş lazer yatay süpürüldüğünde ve ışık algılandığında konum belirleme sistemine bildirilir. Nirengi kullanarak aracın konumu tespit edilebilir. Bu sistemin bir dezavantajı araç ve dedektörler arasında iletişim bağlantısı gerektirmesidir.

Araca monteli lazeri esas alan sistemler, engebeli arazide kullanıldığında hedefleri kaçırma dezavantajı vardır. Alternatif olarak lazerler araziye yerleştirilir ve araç üzerine dedektör bağlanır [8].

Harita tabanlı (ya da harita eşleşmeli) konum belirleme, bilinmeyen ortamın haritasını oluşturmak için aracın kendi sensörlerini kullandığı bir tekniktir. Bu lokal harita daha sonra önceden hafızada varolan harita ile veya sisteme bağlı olan Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS, Geografic Information System)'nden alınan harita ile karşılaştırılır. Robot, ölçülen ve önceden depolanan çevresel özellikleri eşleştirerek ortamdaki gerçek konumunu ve yönünü hesaplayabilir [9].

Sensör Birleştirme (Sensor Fusion)

Tüm işletme şartları altında gerekli bilgileri sağlamak için yalnız tek bir pozisyon sensörü yeterli olmaz. Tek bir mükemmel yöntemin olmaması nedeniyle görelî veya mutlak konum belirleme kullanarak en az her gruptan gelen bir yöntemi birleştirmek tavsiye edilir. Farklı sensör türlerine dayanan bu işleme *sensör birleştirme* denir. Mevcut navigasyon algılayıcı entegrasyon tekniklerinin çoğu, çoklu sensör entegrasyonu için en iyi çözümlerden birini temsil eden, Kalman filtreleme yöntemine dayanır.

Bir Kalman filtresi stokastik (rastgele), rekürsif, ağırlıklı ve en küçük kareler hesaplama algoritmalarını kullanan, doğrusal ve model tabanlı bir kestirimdir [10]. Kalman filtresi GPS paralel izleme sistemleri için uygunluğu kanıtlanmıştır [11].

4.2.3 Navigasyon

Çoğu tarımsal işlerin gerçek saha çalışmalarına başlanmadan önceden planlanması ve optimize edilmiş olması gerekir [12, 13]. Ancak, arazide robotun çalışması deterministik (belirleyici) değildir ve önceden planlanamaz çünkü ortam sadece yarı bilinen ve yarı yapılandırılmıştır. Ayrıca, çevre dinamiktir; tarım robotları diğer robotlar, insanlar ve/veya hayvan varlığında çalışmak zorundadır.

Bir navigasyon işlemi için konum bilgisi yanında, hız, ivme, durum ve açısız hız sorunun diğer birimleridir. Mutlak veya görelî konum bilgisi en önemli bilgilerden biri olmasına rağmen, tarım aracının durumu, tutum ve davranışları hakkında bilgiler de sensörler tarafından tespit edilmek zorundadır. Sensör birleştirme kullanılırken aynı bilgi sonra konum veya davranış belirlemek için de kullanılabilir.

Araçlar bu günlerde harita tabanlı ve sensör tabanlı sistemler olarak sınıflandırılır. Harita tabanlı veya otomatik güdümlü tarım araçları (AGV, automated guided vehicles) planlanan navigasyon rotalarını değiştirmek için bağımsız değildir. Bu nedenle bu sistemler önceden belirlenmiş davranışları sergilerler. Konum bilgisi en önemli veridir, aksi takdirde, kabul edilemeyecek davranışlar mümkün olabilir. Sensör tabanlı veya kendinden güdümlü araçlar (SGV, self guided vehicles) farklı performans sergilerler ve kendi yerel çevre bilinçlerine daha çok güvenirlir. Gelişmiş hareket kontrolü, engellerden kaçınma, örüntü tanıma ve otonom navigasyon bu mobil ajanlar için güvenilir, emniyetli ve doğru işlemleri gerçekleştirmek için temel

fonksiyonlardır. Konum bilgisi aracın tutumu ve yakın çevresini tanımlamak için diğer önemli veriler arasında yer almaktadır.

Ayrıca, AGV ve SGV mobil araç türleri de kartezyen harita tabanlı ve göreceli sensör tabanlı sistemler olarak tarif edilebilir [14]. Aracın davranış eylemlerinin kabul edilebilir olması istendiğinde, her iki sistemin bir araya gelmesi ile oluşan hibrit sistem gerekmektedir. Bu hibrit sistem daha sonra hedef odaklı ve uyarlamalı kontrolü birleştirir. Her iki araç tipi, konum bilgisi ile beraber hız, durum, rota, ivme ve açısal oranlarının da içinde olduğu işlemleri içeren navigasyon bilgisine ihtiyaç duyar.

Navigasyon İşleri

Bir AGV yi bir A noktasından B noktasına hareket ettirmek için (navigasyon) başlangıç ve bitiş noktalarını da içine alan planlanmış bir rotaya ihtiyaç vardır. Konum belirleme sistemi otomatik dümenleme ile birlikte aracı rotası üzerinde tutar.

SGV' lerin sadece hedef konumu ve mevcut konumu bilmeleri yeterlidir. Gerçek rota sensör sistemlerinden gelen engellerden kaçınma ve hedef konuma kalan mesafe bilgisine göre hesaplanacaktır.

Özellikle bilinmeyen ortamlarda, navigasyon modu daha fazla gelişmiş olmak zorundadır. Sadece sensör birleştirme değil ayrıca davranış birleştirme de içeren hibrit sistemler önerilmiştir [12, 15]. Sistemin ana bileşenleri bir engel sakındırıcı, bir hedef arayıcı, bir navigasyon yöneticisi ve bir ortam değerlendiricidir.

Bu navigator, çeşitli bilinmeyen veya kısmen bilinen ortamlarda başarı gösterebilir ve hareketli engellerle mücadele için yeterli yeteneğe sahiptir [12].

Bir tarım robotu, arazi çalışmalarında başarılı olabilmesi için arazide birkaç navigasyon modu sergileyebilmelidir.

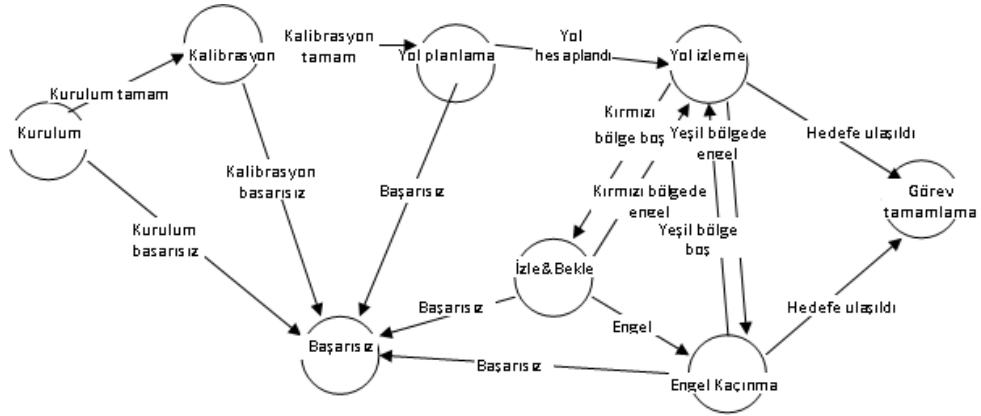
Navigasyon Modu Değiştirici

Hibrit sistemler için dinamik ortamlardaki karmaşık navigasyon görevleri, belirli temel davranışları aktive edilmesini veya devre dışı bırakılmasını gerektirir. Bunun yanında, tarımsal faaliyetlerin farklı aşamalarındaki işlemlerle ve çevreyle araç etkileşim halindeyken navigasyon işleminin bazı parametrelerinin değiştirilmesi gerekebilir. Hibrit yapılarda, bu görev hibrit bir otomat (hibrit işlemci) [16] gibi veya ayrık olay sistemi [17] gibi davranan bir aracı işleme devredilir. Yani araç her farklı olayda farklı bir davranış gösterir.

Navigasyon Modu

Vougioukas ve ark. [12] Bir robotik tarım faaliyeti için bir mod değiştirici önerdiler. Bu mod değiştirici, sekiz basit navigasyon görevi yürütmektedir: başlatma, kalibrasyon, yol planlaması, yol izleme, izle ve bekle, engellerden sakınma, başarısızlık ve bitirme (Şekil 1). Yol izleme modu, tamamen deterministik iken engelden sakınma modu tamamen reaktiftir. Navigasyon görevinin fonksiyonu, aracı

daha araç hareket etmeden önce yol planlayıcısı tarafından planlanan yolda önüne çıkabilecek herhangi bir engelden sakındırarak hareket ettirmektir. Navigasyon görevleri gerçekleştirilmiş ve belirli bir platformlarda test edilmiştir [12]. Aşağıda çalışma modu ve mod değiştirici uygulanmasının açıklaması verilmiştir.



Şekil 1. Mod değiştirici: saha operasyonları için farklı navigasyon görevleri [1].

- Göreve başlatma modu:** Bu çalışma modunda robot çalışmaya başlar, tüm eyleyici ve sensör nesnelere bağlanır ve aktif nesnelere için gerekli tüm bellek ayırmalarını yapar. Görevin icrasının devamını yasaklayacak herhangi bir sorunla karşılaşılırsa mod yöneticisine uygun bir mesaj gönderilir.
- Görev kalibrasyon modu:** Bu mod gerçekleştirilen robot hareketlerini içeren bir dizi kalibrasyon işlemini kapsar. Daha spesifik olarak, Robot önceden tanımlanmış küçük bir mesafe boyunca hareket ederken GPS'ten gelen filtrelenmiş rota bilgileri kullanılarak pusula kalibre edilir. Ayrıca, bu modda, görevin icrasını yasaklayan herhangi bir sorun olursa mod yöneticisine uygun bir mesaj gönderilir.
- Yol planlama modu:** Genelde bu modda mevcut herhangi bir engelin durumu ve geometrisi, arazi ve araç geometrisi hakkında detaylı bilgi, işlem gereklilikleri (yani arazi örtüsü) esas alınarak aracın mevcut konum ve yönelimini istenilen (hedef) konum ve yönetime bağlayan çarpışmanın olmadığı bir yol hesaplanır. Yol planlaması araç tarafından tanımlanan kinematik ve dinamik kısıtlamaları ve onun yaptığı, sürdürdüğü herhangi bir uygulamayı dikkate almalıdır. Birden çok uygun yolların olması durumunda ise, minimum seyahat zamanı, minimum yakıt tüketimi, gibi optimizasyon kriterleri kullanılabilir [18,19].
- Yol izleme modu:** Yol izleme veya rota takibi aracın önceden belirlenmiş bir rotayı takip işlemidir. Bu mod robotik ve otonom tarımsal araçlarla ilgili önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Özellikle holonomik olmayan (kurallara tam uymayan) araçların durumunda bu görev çok zor değildir. Bir yol, düz çizgi parçaları ile birbirine bağlanmış yol noktaları dizisi olarak tanımlanabilir.
- Engel kaçınma modu:** Engel kaçınma araç statik ve dinamik engellerden kaçınıyorken aracı istenilen yönde hareket ettirme işlemidir. Bazı mesafe sensörleri

robotun “yeşil bölgesinde” bir engel algıladığında engel kaçınma çalışma modu devreye girer. Bu uygulama sanal kuvvet alanı (VFF, Virtual Force Field) yöntemine dayanmaktadır [20]. Bu yöntem engel gösterimi için kanıt ızgaralarını (ya da konaklama ızgaraları) gerçek zamanlı engelden kaçınmak için potansiyel alan yöntemi ile birleştirir [21].

•*İzle ve bekle modu*: Bu mod bir engel aniden robota yakın görüldüğünde devreye girer. Bu durumda, robot, bir süre hareketsiz duracak, mesafe sensörleri onu okuyacak ve engel kalkar veya kaldırılıncaya kadar bekleyecektir. Bu olmazsa, uygun bir mesaj modu değiştiriciye gönderilecek, başarısızlık moduna girmesi ile görev sonlanacaktır.

•*Görev arıza modu*: Bu çalışma moduna görev tamamlama modu haricinde diğer tüm modlardan ulaşılabilir. Bu eylemler yürütülmekte olan görevin türüne büyük ölçüde bağlıdır. Bu özel durumda robotun hala çalışmada kalması emredilir, tüm aktif nesnelere hafızadan arındırılır, veri yüklü dosyalar kapatılır, bilgilendirici hata mesajları standart çıktıya yazdırılır.

•*Görev tamamlama modu*: Bu modda robotun sabit kalması emredilir, tüm aktif nesnelere hafızadan arındırılır ve veri dosyaları kapatılır.

Kaynaklar

1. Hague, T., J. A. Marchant, and N. D. Tillett. 2000. Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles. *Computers and Electronics in Agriculture* 25: 11-28.
2. Tillett, N. D., T. Hague, and S. J. Miles. 2002. Inter-row vision guidance for mechanical weed control in sugar beet. *Computers and Electronics in Agriculture* 33: 163-177.
3. LeMaster, E. 2003. GPS on the web—Applications of GPS pseudolites. *GPS Solutions* 6: 268-270.
4. Barnes, J., C. Rizos, J. Wang, D. Small, G. Voigt, and N. Gambale. 2003. Locata: The positioning technology of the future? *Proc. SatNav 2003 the 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning and Location Services*.
5. Borenstein, J. 1996. Measurement and correction of systematic odometry errors in mobile robots. *IEEE Trans. Robot. Autom.* 12(6): 869-880.
6. Borenstein, J., H. R. Everett, L. Feng, and D. Wehe. 1997. Mobile robot positioning—Sensors and techniques. *J. Robotic Systems* 14(4): 231-249.
7. Olson, C. F. 2002. Selecting landmarks for localization in natural terrain. *Autonomous Robots* 12(2): 201-210.
8. Shmulevich, I., G. Zeltzer, and A. Brunfeld. 1989. Laser scanning method for guidance of field machinery. *Trans. ASAE* 32(2): 425-430.
9. Yang, H., K. Park, J. G. Lee, and H. Chung. 2000. A rotating sonar and a differential encoder data fusion for map-based dynamic positioning. *J. Intelligent and Robotic Systems* 29(3): 211-232.
10. De Schutter, J., J. De Geeter, T. Lefebvre, and H. Bruyninckx. 1999. Kalman filters—A tutorial. Leuven, Belgium: Katholieke Universiteit Leuven.
11. Han, S., Q. Zhang, and H. Noh. 2002. Kalman filtering of DGPS positions for a parallel tracking application. *Trans. ASAE* 45(3): 553-560.

12. Vougioukas, S., S. Fountas, B. S. Blackmore, and L. Tang. 2004. Navigation task in agricultural robots. *Proc. International Conference on Information Systems and Innovation Technologies in Agriculture, Food and Environment* (Thessaloniki, Greece), 55-64.
13. Blackmore, B. S., S. Fountas, S. Vougioukas, L. Tang, C. G. Sørensen, and R. N. Jørgensen. 2004. A method to define agricultural robot behaviours. *Proc. Mechatronics and Robotics*.
14. Freyberger, F., and G. Jahns. 2000. Symbolic course description for semiautonomous agricultural vehicles. *Computers and Electronics in Agriculture* 25(1-2): 121-132.
15. Ye, C., and D. Wang. 2001. A novel navigation method for autonomous mobile vehicles. *J. Intelligent and Robotic Systems* 32: 361-388.
16. Egerstedt, M., K. Johansson, K. Lygeros, and S. Sastry. 1999. Behavior based robotics using regularized hybrid automata. *Proc. IEEE Conference on Decision and Control (CDC '99)*.
- 204 Chapter 4 Mechatronics and Applications 17. Kosecka, J., and R. Bajcsy. 1994. Discrete event systems for autonomous mobile agents. *J. Robotics and Autonomous Systems*.
18. Sørensen, C. G., T. Bak, and R. N. Jørgensen. 2004. Mission planner for agricultural robotics. *Proc. AgEng, Leuven, Belgium*.
19. Stoll, A. 2003. Automatic operation planning for GPS-guided machinery. *Proc. 4th European Conference on Precision Agriculture ECPA*, ed J. V. Stafford, 657- 664. Berlin, Germany: Wageningen Academic Press, Wageningen, NL.
20. Borenstein, J., and Y. Koren. 1989. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots. *Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 19(5): 1179-1187.
21. Khatib, O. 1986. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. *International J. Robotics Research* 5(1): 90-98.