

*Blackmore, B. Simon, and Hans Werner Griepentrog. 2006. Section 4.3 Autonomous Vehicles and Robotics, pp. 204-215 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.*

*Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ  
Çeviri Editörleri: Sefa TARHAN ve Mehmet Metin ÖZGÜVEN*

## 4.3 Otonom Araçlar ve Robotik

*Yazarlar: B. S. Blackmore and H. W. Griepentrog*

*Çevirmenler: Pınar DEMİRCİOĞLU ve İsmail BÖĞREKÇİ*

**Özet:** *Bu bölüm, sürücü destekli kumanda edilen farklı tipteki araçlardan tamamen otonom araçlara kadar çeşitlilikte olan araç otomasyonundaki son gelişmelerden bazılarını kapsamaktadır. Ticari ve araştırma örnekleri, davranışsal robotiğin tarıma nasıl uygulanabileceğinin bir tarifi ile birlikte verilmektedir.*

**Anahtar Kelimeler:** *Otonom traktör, Otomatik dümenleme, Tarımsal robotik, Davranışsal robotik*

### 4.3.1. Sürücü Desteği

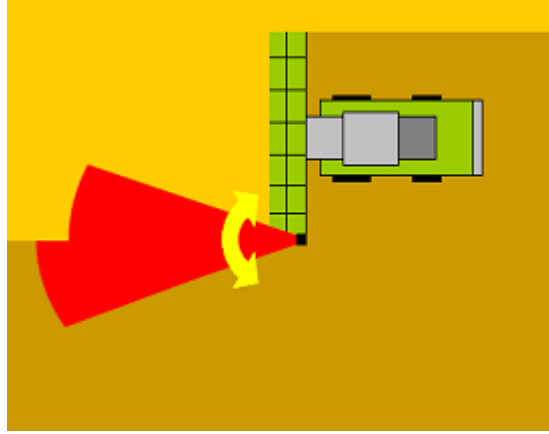
Çeşitli sürücü destek yardımları, verimliliği iyileştirmenin yanında tarla işlemlerinin zorluğunu ve karmaşıklığını azaltmaya da yardımcı olmak için kullanılabilir. Bu yardımlar, dümenleme desteği ve otomatik tarım makinesi işleri olarak iki ana gruba ayrılır.

Tarla verimliliğini arttırmak için, operasyonların çakışması ve atlanması minimumda tutulmalıdır. Önceden işlenmiş alan ile aletin çalışma alanı arasındaki fark genellikle gözle kararlaştırılır ve sürücünün yetenek ve tecrübesine dayanır. Aletlerin genişliği arttıkça, bu görev çok daha zorlaşmaktadır, böylece tarla işlenirken doğru sürüş mesafesini işaretlemek için markör kullanmak ve ilaçlama (pülverizasyon) yapılırken köpük işaretleri kullanmak gibi farklı işaretleme sistemleri geliştirilmiştir.

### **Direksiyon Desteği: Ekin Kenarı Algulama**

Biçerdöver boyutları arttıkça, buna uygun tabla genişlikleri artmaktadır, bu nedenle 10 m tabla genişliği olağandışı değildir. Sap ayırıcı ve ekin kenarı arasındaki mesafenin değerlendirilmesi, özellikle bir tarafa 5 m mesafede ve sürücünün biraz ilerisinde olabildiği için zorlaşmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yöntemi, sap ayırıcıya monte edilmiş ileri mesafeleri görme yeteneğinde olan bir lazer tarayıcı kullanılmasıdır. Lazer tarayıcı, mevcut ürünün kenarı üzerinden yay şeklinde bir ışık süpürür (Şekil 1) ve bir derece aralıklarla her nokta için mesafeyi

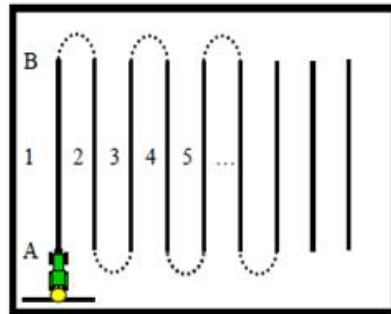
hesaplar. Mevcut canlı ekin, kesme anızından daha uzun olduğu için, ekinin kenarı ayırt edilebilir. Ekinin kenarı ve sap ayırıcı arasındaki mesafe hesaplanabilir ve tablayı dolu tutmak için dümenleme kontrol sistemine bu bilgi bildirilir.



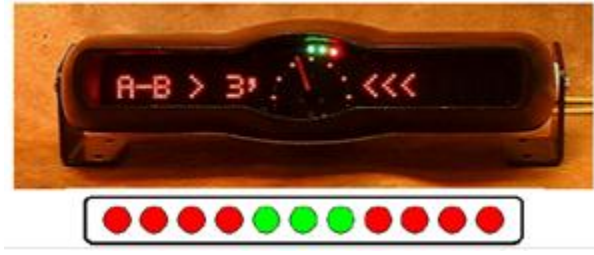
Şekil 1. Mevcut canlı bir ürünün kenarını ayırt etmek için kullanılan lazer tarayıcı.

### ***Direksiyon Desteği: Elektronik markör (Light bar)/Grafik Ekran***

Tarla işlemlerinin çakışmasını ve atlanmasını azaltabilmek için, bir önceki izle paralel, doğru mesafede ve düz bir hatta tarlayı sürmek her zaman önemli olmuştur. Toprak işleyen diskler ve köpük markörleri kullanılmıştır, fakat daha yüksek doğruluğa sahip konumlandırma sistemlerinin ve basit sürücü ara yüzlerinin kombinasyonu, yarı tecrübeli bir sürücüdün kaliteli bir çıktı alınmasına imkân vermiştir. Aracın pozisyonunun, sürücünün tahmin edebildiğinden daha kesin olarak ölçülebildiğinde, sürücü AB hattı denilen A noktasından B noktasına kadar ilk ekin sırasını kaydeder. Aletin iç genişliği sisteme girilir ve sistem AB hattına paralel bir sonsuz iz serisi hesap eder (Şekil 2). Sürücü, elektronik markörü izler ve bir sonraki izi seçmek ve traktörü çizide tutmak için bu elektronik markörler kullanılır. Bazı ticari sistemler, traktörü, takip edilecek yolun düz kısmında iken, otomatik olarak yönlendirme yeteneğine sahiptir. Manuel dümenleme sıranın sonundan dönmek için kullanılır.



Şekil 2. AB hattı ve sonsuz (gösterilmeyen) paralel izler ve Auto Trac direksiyon sistemi kullanan bir John Deere traktörü.

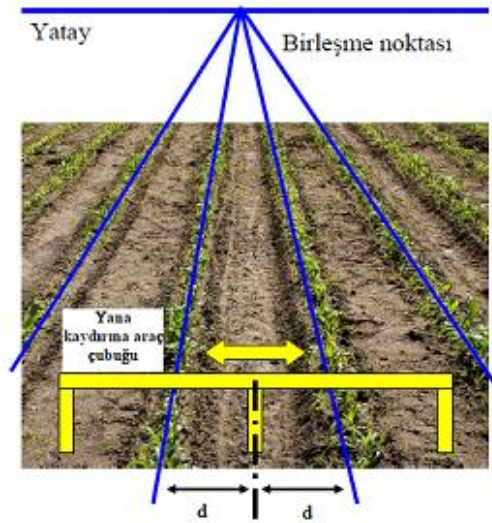


Şekil 3. Elektronik markör (light bar). Detaylı gösterge (yukarıda, ©Trimble); basit LED yerleştirilmesi (aşağıda).

Elektronik markörün kendisi, traktörün gerçek konumundan istenilen konum arasındaki sapmayı temsil eden LED'lerden oluşan yatay bir çizgidir. Sürücü traktörü sürer, böylece ortadaki LED'ler açık kalır (Şekil 3). Kırmızı LED'ler sağa ve sola istenilen yolu gösterirken, yeşil LED'ler merkezi ölü bant bölgesi için kullanılabilir. LED'lerin daha gelişmiş versiyonları bir sonraki özellik için yön vermenin yanında rehberlik ve hata gibi yönlendirmeler yapabilir (toprakta numune almak için kullanım).

#### ***Sürücü Desteği: Kendi Kendine Yön Veren Sıra Arası Ot Temizleme Makinesi***

Mekanik olarak yapılan sıra arası yabancı ot temizleme, tecrübeli bir operatör tarafından yerine getirildiğinde çok etkili olabilir, fakat bunu uzun bir zaman periyodu boyunca yüksek doğrulukta sürdürmek zordur. Sıranın merkezine yaklaşmak için en iyi regresyon hattını bulmak amacıyla görüntüyü toprak rengi ve yeşil olacak şekilde ikilileştirme ve sıralara ekilen ekin bilgisini kullanarak ekinin üzerine gelecek şekilde monte edilen bir kameradan yanlamasına ürün sıra konumuna ait veriler çıkartılabilir. Bu hatlar, hatlar arası mesafenin ortasında çalışmak için yana doğru yer değiştirebilen ot temizleme makinesine geriye doğru uzatılabilir (Şekil 4).

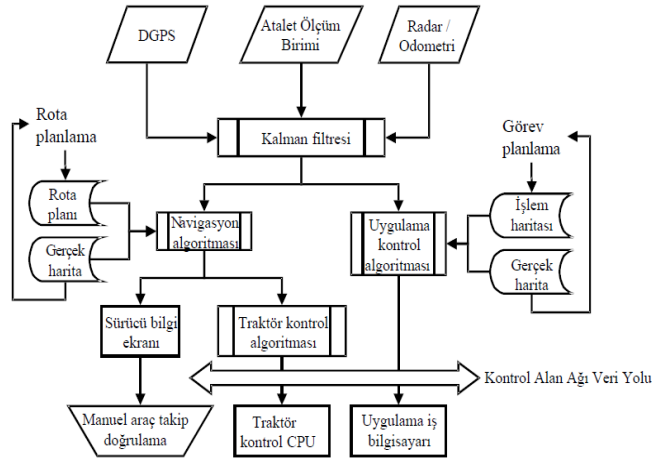


Şekil 4. Ürün sırası regresyon hatları ve sıra arası ot temizleme makinesinin şematiği.

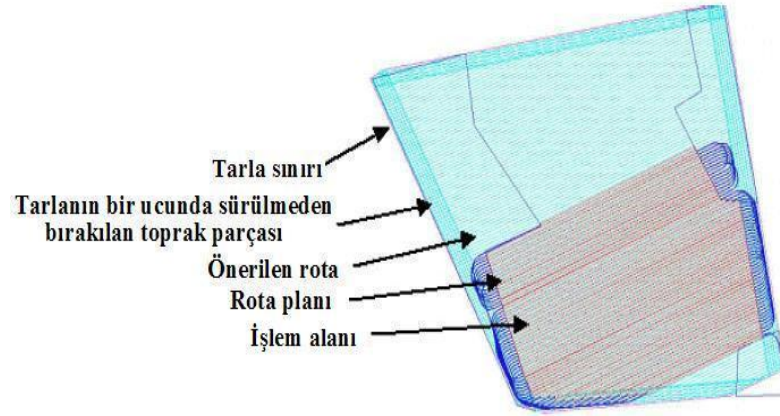
#### 4.3.2. Otomatik Dümenleme

Sürücü başka görevlerle ilgilenirken, otomatikleştirilmiş dümenleme fonksiyonuna müsaade eden, klasik traktörlere uyarlanabilen mevcut ticari birtakım sistemler vardır. Bu sistemler operatörden dümenleme görevini almasına rağmen, sürücü dümenlemenin dışında pek çok diğer görevleri yürütmek durumunda olduğu için, bu sistemler otonom olarak düşünülemezler. Şekil 5 otomatik dümenlemenin ve tarım makinesi kontrol sisteminin bir iş akış şemasını göstermektedir. Traktörün konumlaması ve yön belirlemesi, Kalman filtresi kullanarak gerçek zamanlı kinematik GPS (RTK GPS) global konum belirleme sisteminden mutlak konum, fiber optik jiroskoptan bağıl ivmeler ve odometriden yere göre hız ve mesafe bilgilerini birleştirerek değerlendirilir. Kalman filtresi, her sensör için ayrı bir olasılık hata fonksiyonu oluşturarak ve en uygun olan lehine bir ağırlık fonksiyonunu ayarlayarak konum sensörlerinden gelen hataları düzeltmek için kullanılır. Kabindeki bir bilgisayar (operatör arayüzü ile) traktör üzerinde bulunan bir kontrol merkezi işlem birimine (CPU) ve bir kontrol alan ağı veri yolu (CAN bus) aracılığıyla tarım makinesi üzerindeki bir iş bilgisayarına dümenleme ve tarım makinesi kontrol mesajları gönderir. Traktör kontrol merkezi işlem birimi, dümenleme, traktör hızı, vites kutusu kontrolü, motor hızı, bağlantı kontrolü gibi bir dizi kapalı devre geri besleme sistemlerine sıkıca akuple edilir. Tarım makinesi iş bilgisayarını, özel tarım makinesi için tahsis edilmiştir ve ilaç püskürtme, yabancı otları temizleme, tarlayı pullukla sürmek gibi özel fonksiyonları kontrol eder. Günümüzde, traktör ve operatör tarım makinesini kontrol etmektedir fakat gelecekte tarım makinesi traktörü kontrol de edebilir.

Önerilen güzergâh ve uygulama oranları gibi fonksiyonların tümü iş başlamadan önce tanımlandığı için, bu süreç deterministik olarak kabul edilebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Temel traktör ve uygulama kontrol fonksiyonlarının iş akış şeması.



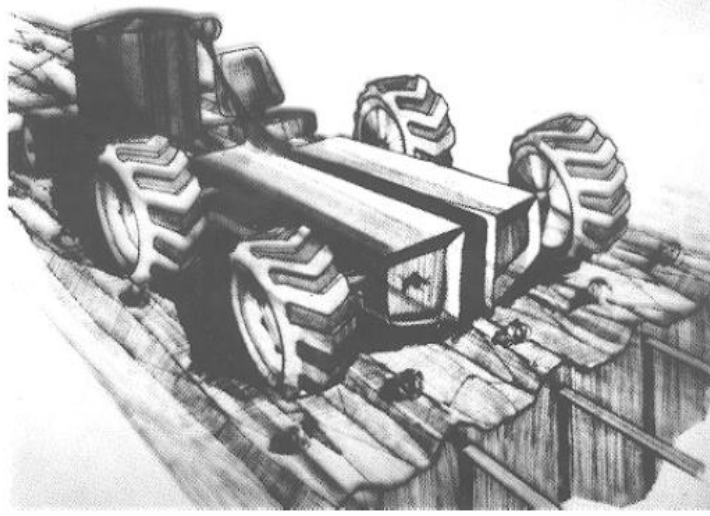
Şekil 6. Rota planı ve otomatik olarak dümenlenen bir traktör için uygulama haritası.

Georeferanslandırılmış bir tarla sınırı, rota planlama yazılımına ve traktöre aktarılır ve tarım makinesi parametreleri tanımlanır. Dönüş çapı, çalışma hızları, makine genişliği gibi bazı parametreler, önceden tanımlanmış bir veri tabanından çıkarılır. Genellikle tarlanın uzunluğu boyunca bir çalışma yönü belirlenir (yukarıdaki A-B hattına benzer) ve yazılım, tarlanın bir ucunda sürülmeden bırakılan toprak parçası üzerinde ve ayrı bir yere tarlanın ana kısmında çalışma genişliği mesafesinde bir dizi önerilen doğrusal rotalar oluşturur. Kullanıcı gereken özel rotayı ve farklı faaliyetlerin ve uygulamaların oluşması gereken yerleri tanımlar. Sonra, bu rota planı ve işlem haritası Şekil 5’de görüldüğü gibi traktörün kontrol ünitesine transfer edilir. Traktör, Kalman filtresini kalibre etmek için birkaç saniyeliğine elle sürülür, sonra otomatik durum moduna geçilmeden önce başlama pozisyonuna getirilir. Traktör, daha sonra algılanmış herhangi konum ve dümenleme hatalarını doğrularak rotasını takip eder. Traktör, işlem alanının sınırlarına ulaştığında, tarım makinesi kontrolü başlatılır. Günlük dosyası, bütün gerçek rotaları ve işlemleri gösteren log dosyası kayıt edilir[1].

#### 4.3.3. Otonom Traktörler

Geçmişte, ziraat mühendisleri tarımsal görevleri otomatikleştirmek için pek çok yol geliştirdiler ve otonom bir traktörü geliştirme amacı, 1920’lerden beri yüzlerce makale ve patentlere sahip ziraat mühendisliğinin hemen hemen kutsal bir hedefi oldu. Bu sistemlerin çoğu özel görevleri otomatik yapması bakımından başarılı olmalarına rağmen, hiçbirisi tam olarak otonom olarak tarımsal ortamın gerçekteki zorluklarının üstesinden gelemedi. Otomatik olarak dümenlenen ile otonom bir traktör arasında açık bir ayrım yapılabilir. Yukarıda tanımlandığı gibi otomatik olarak dümenlenen bir traktör, bilinmeyen bir nesneden kaçınma, emniyet ve diğer otomatik olmayan görevlere katılmak için bir operatöre ihtiyaç duyar; otonom bir traktör ise operatörsüz çalışma yeteneğinde olmalıdır. İnsan bakış açısı tarafından değerlendirildiğinde daha akıllı traktörlerin kontrolüne ihtiyaç duyduğumuz açık bir gerçektir, fakat insanların kolay bulduğu şeylerin bilgisayarda

gerçekleştirilmesi zor olmaktadır. Ayrıca, zekâyı tanımlamak zordur ve sadece insan zekâsı ile karşılaştırılabilir. Başka bir yaklaşım da, görevlere ve davranışlara göre traktörün faaliyetlerini tanımlamaktır. Robotik alanında çalışan pek çok araştırmacı, gerçek otonom araçları geliştirmek için davranış tabanlı robotik uygulamalarının en uygun yol olduğunu düşünmektedir. Bu şekilde, otonom traktör davranışının bir tanımı “yarı doğal bir ortamda, faydalı bir görevi yerine getirirken, yalnız başına hissedilebilir ve uzun süreli bir davranış” olarak ifade edilebilir.



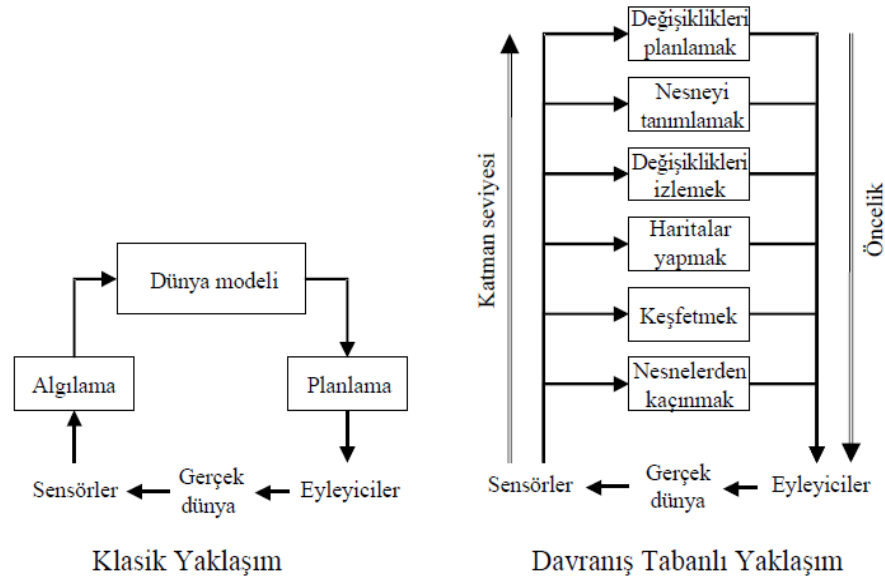
Şekil 7. Kablo takip eden traktörün ilk çizim konsepti.

Bu hissedilebilir ve uzun süreli davranış, çok sayıda kısımdan oluşur. İlk olarak, şu anda cihazdan bağımsız olan bu hissedilebilir davranışın tanımlanması gereklidir. Alan Turing yapay zekâ için basit bir test tanımladı[2]. Turing'in testine göre, makinenin davranışı insaninkinden farksız ise, o zaman o zeki olmalı demektir. Henüz zeki bir makine geliştiremiyoruz fakat uzman bir sistemin formunda önceden tanımlanmış bir dizi uyarıcıya, hissedilebilir bir şekilde tepki gösteren (insanlar tarafından tanımlanan) bir dizi davranış modunu tanımlayarak, makineleri bugünkünden daha zeki hale getirebiliriz. İkincisi, süresi uzatılmış süreçler boyunca görevlerini yalnız başına yerine getirebilmelidir. Yeniden yakıt ikmali yapmaya ihtiyaç duyduğu zaman, merkez binaya ve yeniden stoklamaya dönme yeteneğinde olmalıdır. Üçüncüsü, güvenlik davranışları önemlidir. Makinenin işlevsel modları kendisinin yanında diğerleri için onu güvenli yapmalıdır. Fakat altsistemler kullanım dışı kaldığında, güvenli bir şekilde devre dışı kalma yeteneğinde olmalıdır. Yıkıcı hatalardan kaçınmak için, sistem yedeklemesinin çoklu düzeyleri aracın içine tasarlanmış olmalıdır. Dördüncüsü, araç karmaşık yarı doğal bir çevre (bahçecilik, tarım, park alanları ve orman kullanımlarında) ile etkileşimde olduğundan, doğru bir şekilde davranabilmek için gelişmiş algılama ve kontrol sistemleri kullanması gerekir. Geçmişte yapılan pek çok proje, araca uygun ortamı basitleştirecek yollar bulmuşlardır fakat değiştirilmemiş bir ortamda çalışmak için

uygun ani davranışa izin verecek yeterli zekanın traktöre gömülmesi günümüzün yaklaşımıdır[3].

### ***Amaçlı Otonom Davranış***

Otonom bir aracın işletimi görevler ve davranışlar olarak iki kısma ayrılabilir. *Görev*, traktöre yapması gerekenin öğretilmesidir: yol almak, toprağı işlemek, tohum ekmek, vb. Görevi yerine getirme şekline de davranış denilir. Görevler ve davranışlar, bir operasyon (*deterministik*) başlamadan önce belirlenebilir fakat traktör yeni veya bilinmeyen durumlara tepki gösterme yeteneğine sahip olmalıdır. Bu, değişen *şartlara tepkisel* bir cevap gerektirir. Her iki formun kombinasyonu *hibrit bir sistem olarak adlandırılır*. Bazı alt düzey görevler ve davranışlar, beklenen sonuçları daima veremeyecek yeni daha üst düzey davranışları oluşturmak için bir araya getirilebilir. Bunlara *beliren* davranışlar denilir. Daha yüksek seviye davranışların daha düşük, daha basit olan davranışları *kapsadığı* söylenebilir[4]. Davranış tabanlı robotik ile ilgili daha fazla bilgi için [5] numaralı kaynağa bakılabilir.



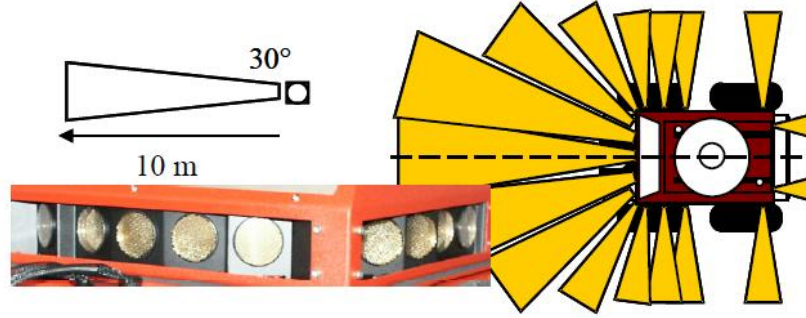
Şekil 8. Klasik ve davranış tabanlı yaklaşımların karşılaştırılması.

#### **4.3.4. Algılama Sistemleri**

Bir aracın hissedilebilir bir şekilde çevresi ile etkileşebilmesi için, onun yerel yakınlığını veya çevresini algılaması ve anlaması gerekir. Algılama sistemlerinin iki temel görevi vardır: Belirli bir hedef veya ilgi noktası ile ilgili özellikleri (burada yer almayan) tanımlama ihtiyacı ve gezinirken engel olabilecek yakındaki nesnelere algılama yeteneğidir. Bu sensörler, araca göre yakınlık verileri verir. Göreceli verilerin mutlak pozisyonu, aracın mutlak konumu ve aracın duruşu göz önüne alınarak hesaplanabilir. Bir dizi temassız telemetreler mevcuttur ancak ses ötesi (ultrasonik) uzaklık ölçerler ve lazer tarayıcılar en yaygın kullanılanlarından ikisidir.

### ***Ultrasonik Bir Halka ile Yakınlığı Algılama***

Ultrasonik bir halka, aracın kapsama bölgesini oluşturmak için belli açılarda ayarlanmış bir takım ayrı ultrasonik uzaklık ölçerden oluşur (Şekil 9). Her uzaklık ölçer yönlendirilmiş bir ultrason "sinyali" yayar ve geri dönen yankı almak için geçen süre, yansıyan nesneye mesafesi ile doğru orantılıdır.



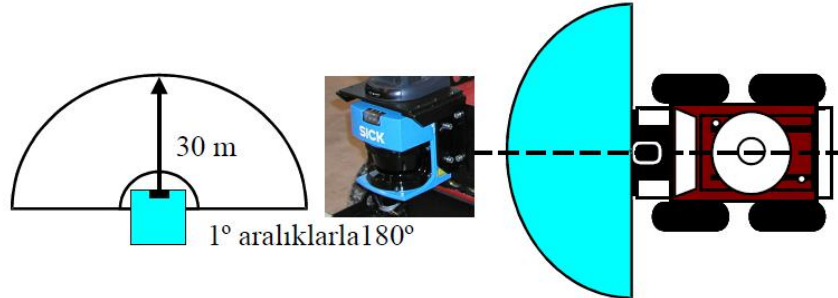
Şekil 9. 17 ultrasonik uzaklık ölçerden oluşan bir ultrasonik halka.

Programlanabilir aralıklarla, her birim ultrasonik bir patlama yayar, birimdeki zil durana kadar bekler ve dönen sinyalin gücünü artırır. Amplifikasyon, mesafe üzerinden zayıflatılmış olan indirgenmiş enerjiyi telafi etmek için zamana bağlı artırılır. Mesafeler; sinyalin iletimi ve geri alınışı arasında geçen zaman ve havadaki sesin hızından (sabit olarak alınır) hesaplanır. Çalışma aralığı, 30 derecelik ayırma açısı ile 20 cm ve 10 m arasındadır[6].

Bu uzaklık ölçerler ucuz ve güvenilirdir, fakat yumuşak kumaş gibi ultrasonik emici malzemeleriyle karşılaştıkları zaman sinyal kaybına uğrar.

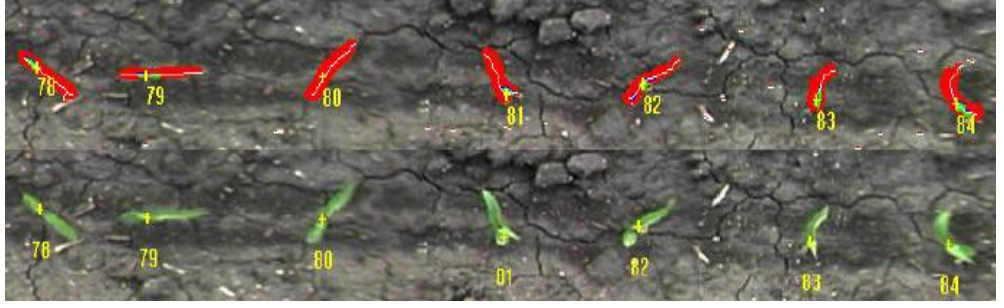
### ***Lazer Tarayıcılar ile Yakınlığı Algılama***

Lazer tarayıcılar, lazer bir düzlemden kesişen bir yüzey profilini tespit etmek için kullanılır. Bir lazer ölçüm sistemi (Şekil 10) 180° boyunca 75 Hz'de darbeli dönen bir lazer ışını yayar ve her nokta için mesafe 1° aralıklarla hesaplanır. Mesafe, algılanan nesnenin yansıtıcılığına bağlı olmakla birlikte bu değer 30 m ve 150 m arasında değişmektedir. Çözünürlük, nominal olarak 10 mm olmasına rağmen aralığın üst limitlerinde istatistiksel hata 40 mm'ye ulaşır. Mesafe ölçümlerinin çıkışı, bir RS232 seri haberleşme portu [7] üzerinden gerçekleştirilir.



Şekil 10. İleri yakınlık algılama için kullanılan lazer tarayıcı.





Şekil 11. Arttırılmış gerçeklik: Video görüntüleri ile bitki sayısı, olasılıkla kök konumu ve hesaplanan yaprak alanı [8].

### ***Engelleri Algılama***

Bir nesne navigasyona müdahale olasılığı olduğunda bir engel haline gelir. Geliştirilmekte olan çoğu robot sistemleri 2.5-boyutlu bir dünya varsayarlar. Bu, tüm engellerin sonsuz yükseklikte olduğu düşünülür ve kaçınılması gerektiği anlamına gelmektedir. 3 boyutlu bir dünya da, eğer bir pülverizatör bumu güvenli bir şekilde küçük bir kayanın üstünden geçebilirse, bu kayanın bir engel değildir, fakat eğer traktör onun üzerinden geçmeye çalışırsa, bu bir engel haline gelir. Bu tip 3 boyutlu etkileşimi elde etmek zordur.

### ***Hedefleri Algılama***

Bir hedef veya ilgi noktası görevin yürütüldüğü nesne veya konumdur. Bu bir geçiş noktasının, ürün sırasının ve hatta tek bir bitkinin şeklini alabilir. RTK GPS bazı operasyonlar için gerekli olabilen, santimetre düzeyindeki mutlak konumları verebilmesine rağmen, özelleştirilmiş göreceli sensörler, ayrı ayrı hedeflerin tespit edilmesi için gerekmektedir. Kameralar ve makine görüşü teknikleri genellikle bu amaç için kullanılır (Şekil 11'e bakabilirsiniz).

### **4.3.5. Çoklu Araçlar**

Otonom bir traktör geliştirildiği zaman, iş başarısını arttırabilmek için çok sayıda görevi birleştirmek nispeten kolay bir görev olacaktır. Etkileşimin üç seviyesi tanımlanmıştır.

- *Koordinasyon*: Çoklu araçların koordinasyonu merkezi olarak yapılabilir. Her araç bağımsız olarak çalışır ve diğer araçlar hakkında gerekenleri bilmez fakat yerine getirmesi gereken kendine ait görevi vardır. Örneğin her araç farklı alanlarda farklı bir görevi yerine getiriyor olacaktır.
- *Dayanışma*: Aynı alanda çalışan çoklu araçların birbirlerinden ve diğerlerinin ne yaptığından haberdar olmasına dayanışma denir. Üç araç aynı alanda mekanik olarak yabancı ot temizleme gibi aynı görevi yürütseydi, o zaman her bir araç, başlamak için yeni bir sırayı seçmeden önce diğer araçların çalışıyor olduğu sıraları bilmesi gerekecektir. Aynı sırada iki aracın kafa kafaya gelmesi

anlamalı olmayacaktır. Eşleştirilmiş araçlar arasında gerçek zamanlı iletişime ihtiyaç vardır.

• *İşbirliği*: Çoklu araçların aynı anda aynı görevi paylaşabilmesidir. Bir aracın tek başına çekemediği büyük bir römorku çekmek için çoklu aracın kullanılması işbirliğine bir örnektir. Bu, etkin bir şekilde yönetmek için çok zor bir durumdur.

#### 4.3.6. Tarımsal Araştırma Araçları

##### **Robotra**

Robotra (Şekil 12), 1993 yılında Japonya Saitama'da, Tarım Makineleri Enstitüsü'nde toprak işleme robotu olarak tasarlanmıştır. Robotra; yüksek düzeyde otomasyona müsaade etmek için traktörle etkileşim halinde olan kontrol sistemleri ve bir dizi konumlama sistemi (RTK GPS, ölçme amaçlı lazerli uzaklık ölçer, odometri, dijital pusula ve atalet ölçümü) ile güçlendirilmiş olan ticari bir traktördür [9].



Şekil 12. Robotra, otonom bir araştırma traktörü.



Şekil 13. Ürünler ve yabancı otlar için amaca uygun olarak yapılmış küçük bir algılama platformu (©DIAS).

### ***Otonom Platform ve Bilgi Sistemi (API, Autonomous Platform and Information System)***

Dört çekişli ve dört tekerleği dümenlemeli küçük bir platform, bir öğrenci projesi [10] olarak üretilmiş ve daha sonra yabancı ot algılamak için renkli kameralarla ve ürünün sağlığı ile ilgili parametreler için hiperspektral kameralarla donatılmıştır. Bu çok yönlü platform; çatısının yüksek olması, küçük iz genişliği ve iyi manevra kabiliyeti sebebiyle ideal bir ürün izleme platformu haline gelmiştir.

### ***Demeter***

New Holland 2250 ot biçme makinesi; DGPS, atalet navigasyon sistemi (INS), odometri ve makinenin önündeki ürünün görüntülerini yakalamak için kullanılan iki kamera ile güçlendirilmiştir. Bir görüntü işleme sistemi, ürün kenarının göreceli konumunu almak için kullanılmıştır. Bu sistem, takip etmek için ot biçme makinesine göreceli bir doğrultman sağlar. Birikmiş konumsal sapmaları ortadan kaldırmak için çoklu göreceli konumlama sistemleri ve mutlak konum belirleme sistemleri (GPS) entegre edilerek, ana rehberlik görevinin yanı sıra güvenilirlik iyileştirilmiştir. Tam gelişmemiş engel sakınma algoritmaları görüntü işlemenin içerisine yerleştirilmiştir[11].



Şekil 14. Demeter (<http://www-old.rec.ri.cmu.edu/projects/demeter/index.shtml>).



Şekil 15. Otonom sap kesme makinesi (<http://www-old.rec.ri.cmu.edu/projects/demeter/index.shtml>).

### Kaynaklar

1. Glasmacher, H. 2002. AGRO NAV Plan-Software for planning and evaluation of the path and work of field robots. *Automation Technology for Off-Road Equipment*, ed. Q. Zhang, 405-411.
2. Turing, A. 1950. Computing machinery and intelligence. *Mind* 59: 433-60.
3. Blackmore, B. S., H. Have, and S. Fountas. 2001. A specification of behavioral requirements for an autonomous tractor. *Proc. of the 6th International Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering*, eds. M. Zude, B. Herold, and M. Geyer, 25-36. Potsdam-Bornim, Germany: Institut für Agrartechnik Bornim e.V.
4. Brooks, R. A. 1986. A robust layered control system for a mobile robot. *J. Robotics and Automation RA-2*: 14-23.
5. Arkin, R. C. 1998. *Behavior Based Robotics*. Cambridge, MA: MIT Press.
6. Polaroid. 1993. *Polaroid ultrasonic developer's kit*. PXW6431. Polaroid Corporation. Available at: [www.polaroid-oem.com](http://www.polaroid-oem.com).
7. SICK. 1998. Laser Measurement System LMS 2000. Laser Measurement Technology, SICK optics, Sebastian-Kneipp-Straße 1, D-79183 Waldkirch, Germany. Available at: [www.sick.de](http://www.sick.de).
8. Tang, L., Tian, L., and B. L. Steward. 2000. Color image segmentation with genetic algorithm for in-field weed sensing. *Trans. ASAE* 46: 1019-1028.
9. Matsuo, Y., Yamamoto, S., and O. Yukumoto. 2002. Development of tilling robot and operation software. *Automation Technology for Off-Road Equipment*, ed. Q. Zhang, 184-189.
10. Madsen, T. E., and H. L. Jakobsen. 2001. Mobile robot for weeding. Unpublished MSc. thesis. Danish Technical University.
11. Pilarski, T., M. Happold, H. Pangels, M. Ollis, K. Fitzpatrick, and A. Stentz. 2002. The Demeter system for automated harvesting. *Autonomous Robots* 13: 19- 20.