



Geçmişte insanlar kaybolmamak için önce yer şekillerinden, sonra da yıldızlardan yararlanıyorlardı. Denizciler, Güneş ve gece gökyüzündeki yıldızlara bakarak konumlarını hesaplamayı öğrendiler. Pusulanın, bu alandaki en büyük keşiflerden biri olduğu göz ardı edilemez. Ancak, konum belirlemedeki en büyük keşif, kuşkusuz Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS). Sistem, başlangıçta askeri kullanıma yönelik olarak geliştirilmiş olduğu halde, kimsenin öngörmediği biçimde büyük çoğunlukla sivil tarafından kullanılır hale geldi. Cep telefonu boyutlarındaki bir GPS alıcısı, yine bir cep telefonu fiyatına satın alınabiliyor. Önümüzdeki yıllarda, varolan sistemin geliştirilmesiyle ve yeni sistemlerin kurulmasıyla, kullanım alanları daha da genişleyecek. Bu gelişmeler, çoğunlukla sivil ve ticari kullanıcıların yararına olacak.

Küresel Konumlandırma Sistemi, ABD Savunma Bakanlığı'nın 1978'de ilk Navstar uydusunu yörüngeye yerleştirilmesiyle oluşmaya başladı. GPS'i tasarlayanlar, sistemin sivil ve ticari uygulamalarının da gelişeceğini öngörmüşlerdi. Ancak, öncelikli amaçları, en azından 40.000 askeri kullanıcının yerde, denizde ve gökyüzünde konum belirlemede, bu sistemden yararlanmalaıydı. 1980'li yıllardaysa, sistemi kullanan sivillerin sayısı askeri kullanıcı sayısını geride bıraktı. 1990'ların başlarında, sistemin kesintisiz bir şekilde çalışmasına olanak verecek 24 uydunun tamamlanmasıyla, sivil kullanıcı sayısında patlama oldu.

Günümüzde, GPS'in yaklaşık 30 milyon kullanıcısı var. Artık GPS, uçaklar, gemiler ve başka ticari araçların yanı sıra, özel otomobillerde ve teknelerde de yaygın olarak kullanılıyor. Üreticiler, artık bir kol saatinin ya da cep telefonunun içine entegre edilmiş olan GPS alıcıları üretiyorlar. Denizcilik, dağcılık, doğa yürüyüşü gibi spor ve eğlence amaçlı etkinliklerde yaklaşık bir cep telefonu boyutlarındaki GPS alıcıları kullanılıyor. Bu tür alıcıları üreten firmalar her ay yaklaşık 200.000 aygıt satıyor. Frost & Sullivan adlı bir araştırma şirketinin yaptığı ankete göre, satılan tüm GPS alıcılarının % 92'sini sivil, yalnızca % 8'iniyse askerler kullanıyor.

Aslında GPS kısaltması, Amerikan GPS-Navstar uydularından oluşan sistem için kullanılıyor. Bu, konumlandırmada kullanılan tek sistem değil. Soğuk savaş döneminde Sovyetler Birliği'nin GPS'e karşı oluşturduğu konumlandırma sistemi GLONASS (Global'na Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema - Küresel Konumlandırma Uydu Sistemi), GPS'den 4 yıl sonra, 1982'de kullanılmaya başlandı. Ancak 11 uydusu çalışır durumda olduğundan, sistem şu anda tek başına kullanılır durumda değil. Ancak, üreticiler her iki sistemi de aynı anda kullanabilen alıcılar yapıyorlar. Avrupa Uzay Ajansının geliştirmekte olduğu Galileo Konumlandırma Sis-

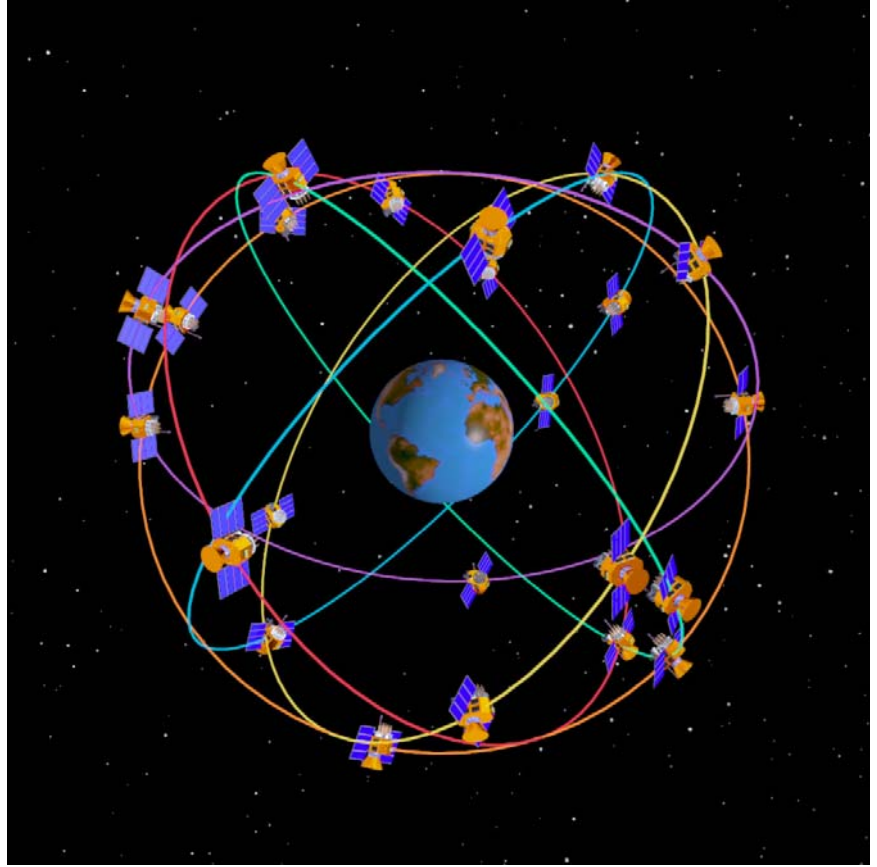
temi, 2008 yılında tam kapasiteyle çalışmaya başlayacak. Galileo'nun özelliği, sivil kaynaklı oluşu ve öncelikle sivil kullanıcılara hizmet edecek olması. Her üç sistemi de tasarlayanlar, birbirleriyle uyumlu olmasına özen gösteriyorlar ve buna yönelik olarak önceden protokoller hazırlanıyor.

Küresel Konumlandırma Sistemi'nin amacı, kullanıcılarına konumlarını hesaplayabilmek için gereken veriyi ulaştırmak. Sistem, günümüzdeki haliyle çoğu kullanıcıya yeterince duyarlı ve güvenilir veri sağlayabiliyor. Ancak, özellikle sivil uçuşlar gibi güvenliğin çok önemli olduğu durumlarda sistemin kesintisiz ve çok duyarlı çalışacağından emin olunması gerekiyor. Bu henüz sağlamadığı için, özellikle iniş ve kalkışlarda geleneksel yöntemler kullanılıyor.

Önümüzdeki 10 yıl içinde, Küresel Konumlandırma Sistemi'nin büyük bir atağa geçeceği sanılıyor. Gelecek kuşak GPS, daha duyarlı konumlandırma yeteneğinin yanı sıra, çok daha geniş ve yeni uygulama alanlarına sahip olacak. Deniz, hava ve kara taşımacılığı yapan kuruluşların yanı sıra, haberleşme, inşaat, madencilik, haritacılık ve tarım gibi endüstri alanları, GPS'teki gelişmelerden doğrudan etkileniyor. Bunlar yanında GPS, özellikle yerbilim, arkeoloji gibi bilim dallarında da yaygın olarak kullanılıyor.

Küresel konumlandırma sistemlerinin nereye gittiğini daha iyi anlayabilmek için, sistemin çalışma şeklini ve günümüzdeki uygulamalarını bilmekte yarar var. Her bir GPS uydusu, belli aralıklarla bilgi paketleri yayımlar. Bu uyduların yaydıkları sinyallerin gücü, yaklaşık 5 geleneksel ampul civarında, yani 500 W kadar. Bu ışınım, yaklaşık 20.000 km uzakta, yerde bulunan alıcıya ulaştığında güç yoğunluğu metrekareye  $10^{-3}$  watt'a (1 watt'ın binde biri) kadar düşer. Bir televizyon alıcısına ulaşan güç, bunun yaklaşık bir milyar katıdır.

GPS uyduları, iki tür bilgi yayar. Bunlardan biri, uydunun yörüngedeki konum bilgisini ve sinyalin gönderildiği zamanı içerir. Uydular yörüngede hareket ettiklerinden, konum bilgisi sürekli değişir ve yerdeki bir merkez tarafından duyarlı bir biçimde hesaplanarak uydulara gönderilir. Uyduların yaydığı öteki bilgi paketi, sayısal atmalardan



Küresel Konumlandırma Sistemi'nin çalışabilmesi için yeryüzünde herhangi bir noktada, aynı anda en az dört uydunun gökyüzünde olması gerekir. Bu da yörüngede en azından 24 uydunun bulunmasıyla sağlanabiliyor. Şu an, yedekleriyle birlikte toplam 29 GPS uydusu yörüngede dolanıyor. Bu uyduların her biri, günde iki kez Dünya'nın çevresinde dolanıyor.

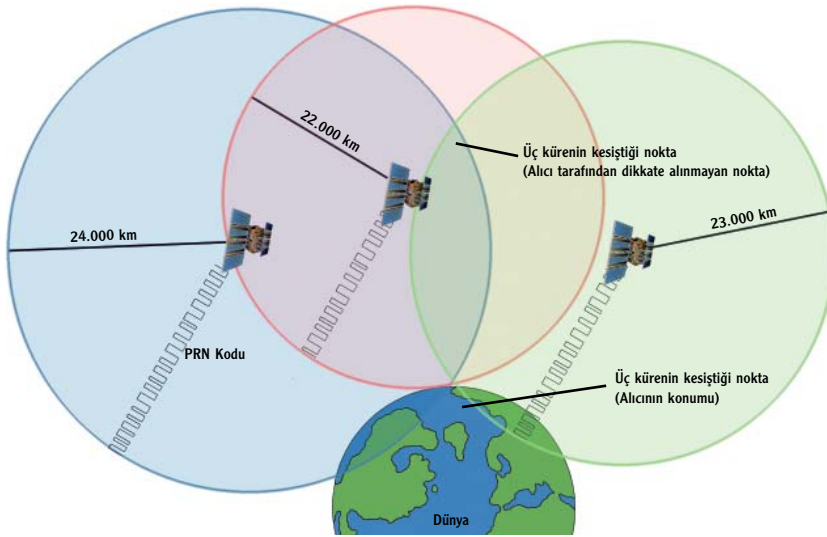
oluşan bir diziden oluşur. Bu kodlar, alıcının konumu duyarlı biçimde belirlemede önemli role sahip olan, sinyalin ulaşma süresini belirlemektir. PRN (pseudo-ranging noise - yalancı-değişken gürültü) olarak adlandırılan bu kodlar, bir şarkıyı oluşturan notalara benzetilebilir. Hem uydunun hem de alıcının bir şarkıyı eşzamanlı olarak çaldığını varsayarsak, alıcının yanındaki dinleyici her ikisini de duyacak; ancak, uydudan gelen şarkı, uzaklığa bağlı olarak dinleyiciye daha geç ulaşacak. Eğer dinleyici, şarkıdaki belli bir notanın iki ayrı yorumda ne kadar süre farkıyla çaldığını bir kronometreyle ölçerse, sesin uydudan ne kadar zamanda geldiğini bulmuş olur. Sesin bir saniyede aldığı yol belli olduğundan, gecikmeye bakılarak kaynağın uzaklığı kolayca hesaplanabilir.

Bir GPS alıcısı, GPS uydularından birinden gelen PRN kodunu algıladığında, aygıtın içinde de eşzamanlı olarak tekrarlanan aynı koddan yararlanarak ışık hızında gelen sinyaldeki gecikmeyi bulur. Uydunun uzaklığını bulabilmek için, aygıtın bu süreyi ışık

hızıyla çarpması yeterlidir.

Alıcının, uydulardan elde ettiği veriler ışığında konumunu nasıl hesapladığını basit bir örnekle şöyle anlatabiliriz: Elinizde bir harita varsa ve üç farklı kente olan uzaklığınızı biliyorsanız, konumunuzu harita üzerinde kolayca belirleyebilirsiniz. Bunun için, uzaklığını bildiğiniz kentlerin herbirinin çevresine (kent çemberin merkezinde olacak şekilde), yarıçapı size uzaklığı kadar olan birer çember çizmelisiniz. Bu çemberlerin kesiştiği nokta sizin bulunduğunuz konumdur. Konumunuzu üç boyutlu olarak hesaplamak isterseniz, en azından dört noktaya olan uzaklığınızı bilmeniz gerekir. Nitekim, GPS'teki durum budur. Konumunuzu tek noktaya indirmek için, en azından dört kürenin yüzeyinin kesiştiği noktayı bulmanız gerekir.

GPS alıcısı, üç uydudan sinyal alarak da konumu belirleyebilir: Üç küre, iki noktada kesişir. Ancak, bu noktalardan yalnızca biri yeryüzünde olabileceğinden, öteki nokta dikkate alınmaz. Ancak, her durumda, duyarlı bir enlem, boylam ve yükseklik hesaplaması için,



Bir GPS alıcısının, konum belirleyebilmek için ez azından üç uyduyla bağlantı kurabilmesi gerekir. Her bir uydudan yayılan sinyallerin küre biçiminde genişlediğini varsayarsak, sinyaller yeryüzündeki alıcıya ulaştığında, kürelerin yarıçapları uyduyla alıcı arasındaki uzaklığa eşit olur. Bu kürelerin yüzeyleri iki noktada kesişir. Bu noktalardan yeryüzünde olanı, alıcının konumuyla aynıdır. Üç uyduyla yapılan konum hesaplaması iki boyutludur. Koordinatların yanı sıra, yüksekliğin de doğru hesaplanabilmesi için, dördüncü bir küreden, yani dördüncü bir uydudan da sinyal almak gerekir.

alıcılara en az dört uydudan gelen sinyallere gereksinim duyarlar.

GPS uydularının yukarıda saydığımız üç değişken (enlem, boylam ve yükseklik) dışında, zamanı da doğru olarak bilmesi gerekir. Önemli olan, GPS uydularının ve alıcının saatlerinin aynı olması. GPS uydularındaki saatler, atom saatleriyle saniyenin milyarda birine kadar duyarlı şekilde düzenli olarak ayarlanırlar. Ama, çok basit bir saat mekanizmasına sahip olan alıcıların saatleri günde bir saniye ya da daha yüksek hata yapabilir. (Zaman hatasını uzaklık hatasına çevirmek için, ışık hızı olan saniyede 300.000 km ile çarpmak yeterli.) Zaman bilgisini almak ve konum hatalarını düzeltmek için, dördüncü uydudan da gerekli bilgi alınır ve alıcı, konumunu olabildiğince küçük hatayla hesaplar.

Son yıllarda üretilen bazı gelişmiş GPS alıcıları, eğer alıcı hareket halindeyse, sinyalin dalgaboyundaki Doppler kaymasına bakarak doğrudan hız ölçebiliyor. Örneğin, alıcı uydudan uzaklaşıyorsa, gelen sinyalin dalgaboyu, olması gerektiğinden daha uzun; yaklaşıyorsa, daha kısa algılanır. Dalgaboyuna bakılarak yapılan hız hesaplamaları çok daha doğru olur.

GPS alıcıları, konum belirlemek için herhangi bir sinyal göndermeye gerek duymazlar. Ancak, kullanıcının konumunu belirlemeye yönelik bazı aygıtlar, belirledikleri konumu herhangi bir alıcı-

ya gönderebilir. Bu, özellikle askeri ya da ticari uygulamalarda kullanılır ve örneğin bir kaza durumunda kullanıcının yerini saptamada çok yararlıdır.

GPS alıcılarının temel işlevleri konum belirlemektir. Bunun ötesinde, en basit alıcılar bile, konumdaki değişime bakarak hareket eden bir alıcının hızını ve gittiği yönü kolayca hesaplayabilir. Bunun yanında yine en basit alıcılarda kullanıcının gereksinimine göre, ayrıntılı kent haritaları yanında yüz binlerce yerleşim biriminin, limanların, deniz fenerlerinin koordinatları gibi veriler yer alır. Alıcı, kullanıcının daha önceden aygıtta kayıtlı noktalara ulaşabilmesi için en kısa yolu gösterebilir. Bunun yanında, izlediği rotayı aynen geri dönmesine olanak sağlar. Bu ve bunun gibi uygulamaların sayısı neredeyse sınırsız. Alıcının yetenekleri, üreticinin yeteneklerine ve kullanıcıların gereksinimlerine bakıyor. Konum bilgisinden yararlanılarak yapılabilecekler, GPS alıcısı üreticilerinin yeteneğine ve kullanıcıların gereksinimlerine bakıyor.

## Küresel Konumlandırmanın Geleceği

Önümüzdeki yıldan başlanarak, Küresel Konumlandırma Sistemi'nde birtakım değişiklikler yapılması düşünülüyor. Bu değişikliklerdeki amaç, sinyalle-

rin alıcılara daha iyi ulaşmasını sağlamak ve sistemin duyarlılığını artırmak. Günümüzde, konum belirlemeye yönelik olarak iki farklı sinyal yayımlanıyor. L1 adı verilen sinyal sivil, L2 sinyaliyse askeri kullanıma yönelik. Sisteme iki yeni askeri sinyalin eklenmesinin yanı sıra, sivil kullanıma yönelik de yeni bir sinyal eklenecek. Bu yeni sinyalleri, önceden üretilmiş alıcılar kullanamayabilir. Bu nedenle, eski sinyaller gelecekte de sürdürülecek. 2008 yılına gelindiğindeyse, yeni ve geliştirilmiş uydular L5 (L3 ve L4 bantları, askeri amaçlı ancak, konum bilgisi taşımayan sinyaller içeriyor) olarak adlandırılan yeni bir bantta daha fazla sivil sinyaller içerecekler. L5 bandı, günümüzdeki sinyallerden en azında dört kez güçlü sinyaller içerecek.

Sinyal sayısının fazla oluşu sayesinde alıcılar, iyonosferin neden olduğu gecikmeyi hesaplayacak ve böylece çok daha duyarlı konum hesaplamaları yapılabilecek. Örneğin, L1 sinyallerini alarak konum hesaplayan, günümüzdeki gibi daha gelişmiş bir alıcı, bu sinyalleri L5 sinyalleriyle karşılaştırarak, duyarlılığını önemli ölçüde artırabilir. Günümüzde bazı özel alıcılar hem L1 bandındaki sivil sinyali, hem de L2 bandındaki askeri sinyali alıp bu karşılaştırmayı yapıyor. İleride, sivil kullanıma yönelik bant sayısının artmasıyla alıcılar çok duyarlı ölçümler yapabilecekler.

Bu gelişmelerden, Diferansiyel-GPS (D-GPS) kullanıcıları da yararlanacak. D-GPS, yerdeki konumu ayrıntılı olarak bilinen bir alıcı-verici yardımıyla, konum bilgilerinin düzeltilmesi yöntemine deniyor. Alıcı, uydulardan aldığı veriyi, yerdeki vericinin gönderdiği hata bilgisi yardımıyla düzeltiyor ve çok daha duyarlı konum hesaplaması yapıyor. D-GPS alıcılarının ölçümlerinin duyarlılığı, alıcının kaynak alıcıya uzaklığıyla orantılı olarak azalır. Çünkü iki aygıtı ulaşan ışınlar, iyonosferin farklı bölgelerinden geçerler ve bu iki bölge birbirine ne kadar uzaksa, iyonosfer katmanının kalınlığının farklı olma olasılığı o kadar artar. Farklı frekanslarda gelen sinyaller, alıcının kaynak alıcıdan gelen sinyalleri de düzeltebilmesini sağlar. Gelecekteki D-GPS kullanıcıları, konumlarını 30 ila 50 cm arasında bir hata payıyla bulabilecekler. Günümüzde GPS kullanıcıları arasında duyarlılığa en çok gereksinim duyanlar, bilim adamları ve



GPS alıcısının temel işlevleri konum belirlemek olsa da, en basit alıcılar bile, konumdaki değişime bakarak hareket eden bir alıcının hızını, katettiği uzaklığı ve gittiği yönü kolayca hesaplayabilirler.

araştırmacılar. Çünkü onların santimetre, hatta milimetre düzeyinde duyarlılığa sahip olan alıcılara gereksinimleri var. Bu duyarlılık, PRN kodlarının ötesinde bir uygulamayı, D-GPS'in gelişmiş bir biçimini gerektiriyor.

GPS sinyalleri, elektromanyetik tayfın mikrodalga aralığında gönderilir. Bu dalgaların dalgaboyu (dalganın birbirini izleyen iki tepe noktası arasındaki uzaklık), 19 cm'dir. Dalgaboyu burada önemli bir etken. Çünkü, dalgaboyu ne kadar kısaysa, sinyal birim zamanda o kadar çok veri taşıyabilir. Bu da ölçümün duyarlılığını belirler. Alıcı kuramsal olarak, bu dalgaboyundaki bir sinyali kullanarak 1-2 mm hatayla konum belirleyebilir; ki bu da en yüksek duyarlılığa gerek duyan kullanıcılar için yeterli. Ancak, eğer alıcı bir şekilde döngülerden birini ya da birkaçını kaçırırsa, hata payı iki döngü arasındaki uzaklık veya onun katlarının neden olacağı hata kadar olur.

PRN kodlarının bir şarkıdaki notalara benzediğine değinmiştik. Her bir PRN sinyali bir notaysa, konum bilgisini hesaplamak için gereken verileri taşıyan ışıma, şarkıdaki davul vuruşları olarak düşünülebilir. Eğer dinleyici yalnızca davul sesini dinlerse, davul hep aynı sesi aynı aralıkla çıkardığından, şarkının neresinin çalınmakta olduğunu anlayamaz. Herhangi bir davul sesinin şarkının neresinde olduğunu anlamanın anahtarı, onu notalarla birlikte dinlemektir. Ancak, bu GPS alıcıları

için kolay bir iş değil. Her notanın (PRN kodunun) başlangıç zamanı, 30 cm'lik aralığa (Saniyede 1 milyar 23 milyon titreşim) sahip. Her davul vuruşuysa, 19 cm'ye karşılık gelen aralıklarla gerçekleşir. Ölçüm, notalara göre yapıldığından, davul vuruşlarının daha sık olması sorun yaratır. Bu şekilde yapılan ölçümlerde hata payı büyük olur.

Belli bir vuruşu daha duyarlı tanım layabilmek için, vuruşların daha uzun aralıklarla gerçekleşmesi gerekir. Bunun için, dalgaların bir özelliği olan girişimden yararlanılabilir. Bunun için de biraz daha yavaş çalan bir davulcuya gerek var. Bir müzik aletinde farklı iki nota aynı anda çalındığında, bu iki nota dışında bir ses daha duyulur. Bu sesin frekansı, öteki iki notanın frekansları arasındaki farka eşittir. Eğer iki notanın frekansı birbirinden çok farklı değilse, elde edilen frekans, her iki notanınkinden de düşük olacaktır. GPS'e dönecek olursak, bu iki nota L1 ve L2 bantlarıdır. Eğer bir alıcı bu iki bantı da alabiliyorsa, bu özellikten yararlanarak dalgaboyları 19 cm ve 24,4 cm olan bu sinyallerden 85 cm dalgaboylu bir sinyal elde edebilir. Bu dalgaboyu, 30 cm çözünürlüğe sahip bir ölçüm sistemi tarafından algılanabilecek kadar uzundur ve alıcıya yaklaşık sekiz mm hata payıyla hesaplama yapma olanağı verir. Bu da çoğu kullanıcı için fazlasıyla yeterli.

Sisteme farklı frekanslarda yeni sinyallerin eklenmesi, işte bu nedenle GPS'in duyarlılığını önemli ölçüde artı-

racak. Gelecekte, sivil kullanıma açık olacak L2 ve yeni eklenecek L5 sinyalleri sayesinde uygun alıcıya sahip herkes çok duyarlı konum saptayabilecek. Aynı anda erişilebilecek üç sinyalin olması, alıcıların konumu hesaplarken üç ayrı vuruş frekansından (L1-L2, L1-L5 ve L2-L5) konum hesaplayabilmesini ve çok duyarlı konum hesaplamaları yapabilecekler.

Uçuş güvenliği gibi bazı konularda, güvenilir ve duyarlı bir sistem büyük önem taşıyor. ABD'nin Federal Havacılık İdaresi, geliştirilmiş sisteme dayanan yeni bir uçuş kılavuz sistemi tasarladı. Kısmen kullanılmaya başlayan sistem, görüş mesafesi sıfıra indiğinde bile pilotların yere inmesine olanak sağlayacak. Burada önemli iki nokta var. Birincisi, konumdaki hata payı çok düşük olmalı ve pilotların bunu bilmesi gerekli. Örneğin, piste yaklaşmak için manevra yapan bir uçağın konum hatasının 10 metreden fazla olmaması gerekir. İkincisi, sistemin kesintisiz çalışacağının bir garantisi olmalı.

2003'de ABD'de kurulan WAAS (Wide Area Augmentation System - Geniş Alan Değerlendirme Sistemi) ulusal çapta GPS alıcılarından oluşan bir şebeke. Bu şebeke, GPS'in performansını ölçüyor ve aynı zamanda D-GPS yani olası hataların düzeltilmesi için kaynak sinyali yayıyor. WAAS sayesinde uydulardan gelen bozuk sinyaller düzeltiliyor. Halen uçaklar bu sistemden yararlanarak yere 100 metre kadar yaklaşabiliyorlar. WAAS bu aşamada devreden çıktıktan sonra geleneksel yöntemlerle uçak yere indiriliyor. Bazı Avrupa ülkeleri, Çin, Japonya, Hindistan, Avustralya ve Brezilya da benzer sistemler geliştirmek için çalışıyorlar.

GPS sinyalleri geliştirildiğinde, LAAS (Local Area Augmentation System - Yerel Alan Değerlendirme Sistemi) adı verilen sistemler, uçakların sıfır görüş mesafesinde yere inmelerini sağlayacak. Bu sistemler, yalnızca hava alanlarının yakınında yerel olarak hizmet verecekler ve hata payı çok düşük olacak.

Alp Akoğlu

Kaynaklar  
Per Enge, Retooling The Global Positioning System, Scientific American, Mayıs 2004  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/audio/sumdif.html#c1>  
<http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-112516142975720/unrestricted/ch3.pdf>  
[http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/chap3/311.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap3/311.htm)  
<http://www.cmtinc.com/gpsbook>  
<http://www.aero.org/publications/GPSPRIMER/>