

## GİRİŞ

Trimble GPSNet ağ RTK çözümü ilk 1999 yılında piyasaya sürülmüştür. Bugün Trimble, ağ RTK çözümlerinde gerek kurma, gerekse işletme bakımından 6 yıllık küresel bir tecrübeye sahiptir. Şu anda 29'dan fazla ülkede 1800'den fazla Trimble GPSNet çözümünü kullanan, referans istasyonu bulunmaktadır. Trimble ağ RTK çözümleri yılların deneyimlerine dayanan ve bugün RTK ağlarında en çok güvenilen ve komple çözüm sunan yöntemleri barındırmaktadır. GPSNet çözümünün ölçeklenebilir olması ve çoklu server sistemi şeklinde çalışabilmesi, sınırsız sayıda referans istasyonu ile çalışabilmesine ve arazide sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet vermesine olanak sağlamaktadır. Şu anda dünyadaki GPSNet ağlarının en küçüğü 4 referans istasyonundan başlamakta ve 400 referans istasyonu içeren çok büyük ağlara kadar hizmet vermektedir. Ağ RTK sunucuları GPSNet sistemlerini birçok kıtada kullanmaktadır. Bazı ülkeleri sayacak olursak Bunlar: Almanya, Avusturya, İsviçre, ABD, Alaska, Kanada, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Belçika, Fransa, İspanya, İtalya, İngiltere, Hollanda, Polonya, Çek Cumhuriyeti, Slovenya, Sırbistan Karadağ, Yeni Zellanda, Avusturalya, Çin, Malezya, Tayvan, Kore ve Japonya... GPSNet sistemi tüm ana GPS üreticilerinin çift frekanslı alıcıları tarafından kullanılmakta olup, tüm endüstri standartlarını kapsamaktadır. Bunlar: RTCM, CMR ve NTRIP (verinin internetten dağıtım)

## GPSNet İÇİNDE VERİ İŞLEME

GPSNet içerisindeki veri işlem, tüm ağ referans istasyonlarını içeren matematiksel optimum Kalman filterlerini ve ionosferik ve troposferik etkileri, yörünge ve saat hataları,

yansıma ve referans istasyonu alıcı gürültüleri gibi, tüm hata kaynaklarının modellenmesini kullanır. Bu merkezi ağ prosesi yukarıda bahsedilen tüm hata kaynaklarını tarifleyerek 1Hz'lik bir güncelleme hızıyla, özenli matematiksel, optimum bir filtreleme hesabı yapar. (Şekil 3.). Bu yaklaşım Trimble patentli FAMCAR metodolojisi (Factorized Multi-Carrier Ambiguity Resolution ) ile mümkün olmaktadır. Bu yaklaşımı kullanarak Kalman filtresi oluşturma sayesinde, tek bir PC kullanarak 50 adet referans istasyonu verisini proses etmek olanaklı hale gelmiştir. Daha büyük ağlar, çoklu server'lar ile proses edilmektedir.

Kalman filtresi durum vektörü elemanları, yukarıda bahsedilen ilgili hata kaynaklarını tarifler. Diferansiyel GPS çalışmasının optimum yolu, bu bilgiyi geziciye göndermek ve gezici konumu ile birlikte gezicide değerlendirmek olurdu. Ancak günümüzde GPS alıcıları bu tür bir veriyi doğrudan kullanma olanağına sahip değildirler. Bu nedenledir ki bu bilginin gezicilerin çoğunun anlayabileceği bir veri protokolüne dönüştürülmesi gerekli olmaktadır. Bunlar günümüzdeki CMR, RTCM 2.x veya VRS için RTCM 3.0 ve FKP (aşağıda anlatılmaktadır) için RTCM 3.0 yanısıra, geleceğe yönelik önerilen RTCM 3.0 ağ mesajlarıdır.

## SANAL REFERANS AĞI (VRS)

Trimble VRS tekniği tüm ağ için gezici yakınında bir sanal referans istasyonu veri seti hesaplayan kompleks filtreleme modelini kullanmaktadır. Günümüzde dünyadaki ağ RTK çözümlerinin %95'i server'dan arazideki geziciye, standart formatlı (RTCM 2.3, RTCM 3.0 veya CMR) düzeltme dizilerini VRS tekniği kullanarak göndermektedir. Tüm ana GPS alıcısı üreticileri bu formatları

kullanmaktadır. Tüm modern GPS alıcı tipleri ile olan bu uyuşumun yanı sıra, VRS tekniğinin bir avantajı da, tüm hata kaynaklarının en son değerlerini içerecek şekilde , her gezici için optimize edilmiş düzeltme dizilerini ayrı ayrı gönderebilmesidir. Bu hatalar 24 saat 7 gün her saniyede bir güncellendiği için, her gezici server'a bağlandığı an, o ana ve kendi konumuna ait optimize edilmiş en yeni modeli kullanmaktadır. VRS metodu GSM, GPRS veya benzeri hücreli telefon sistemleri altyapısında çift yönlü haberleşme kullanmaktadır. Günümüzde dünyadaki ağ RTK sistemlerinin %99'u, bu tür çift yönlü haberleşme teknolojisi kullanmaktadır. GPSNet içerisindeki çift yönlü haberleşme sayesinde bağlanan kullanıcıları takip etme ve faturalama olanakları doğmaktadır. Ancak GPSnet sadece çift yönlü haberleşme ile sınırlı değildir ve kullanıcılara çoklu yayın (Broadcast )modları da (Örn:FKP) sunulmaktadır.

### **LİNEER YÜZEY DÜZELTME PARAMETRELERİ (FKP)**

Birkaç yıl önce Almanya'da SAPOS topluluğu, FKP adında bir ağ düzeltme yayın veri dizisi metodu ortaya koydu. FKP'nin Almanca açılımı "Flaechen-Korrektur-Parameter" olup, anlamı Lineer "yüzey düzeltme parametresi" dir. SAPOS içerisindeki servis sağlayıcıları RTCM 2.3. üzerinde tip 59 mesajı kullanan bir ek standard üzerine anlaştılar. Bu ek mesaj, bir fiziksel referans istasyonu çevresindeki, geometrik ve lineer ionosferik düzeltmeyi tariflemektedir. Lineer düzeltmeleri bir ağ serverinde çoklu referans istasyonları kullanılarak oluşturulmaktadır. Şekil 3. de gösterildiği gibi GPSNet, geometrik ve ionosferik etkiler için kompleks durum filtre vektörlerinden lineer yaklaşımlar oluşturmaktadır. Bu lineer paramet-

reler, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönündeki etkilerin değişimini tariflemektedir. Lineer model kullanma son derece basitleştirilmiş bir metod olduğundan, FKP parametreleri tek bir referans istasyonunu çevreleyen çok sınırlı bir alanda kullanılabilir. Günümüzde, dünyada ağ RTK sistemlerinin sadece %5'i FKP metodu kullanmaktadır. Hatta, SAPOS topluluğu kullanıcılarının çoğunun seçimi de, VRS yöntemidir. FKP yayın modu (Sadece tek yönlü yayın ) olarak dizayn edilmiştir ancak, kurulumların büyük bir kısmı GSM ve GPRS ile çift yönlü olarak kullanılmaktadır. Bunun ana nedeni büyük ağlarda VRS tekniğinin otomatik olarak en yakın referans istasyonunu seçebilir olmasıdır.

### **ENDÜSTRİ STANDARTLARI VE GEZİCİ UYUMU**

VRS ve FKP mesajları RTCM 2.3, RTCM 3.0 ve CMR endüstri standardı formatlar ile birlikte kullanılır. Her iki yöntemde, verinin bir server'da oluşturulduğunu ve gezici yakınındaki bölgeye ait ionosferik ve geometrik hata bilgilerini içeren ek bilgiler olduğunu geziciye anlatan, özel bir mesaj kullanırlar. RTCM 2.3 içerisindeki bu mesajlar ve bunların tamamlayıcıları, tüm GPS alıcı üreticileri tarafından çözülebilmektedir. Sonuç olarak tüm ana GPS üreticileri, hem VRS, hem de FKP veri formatlarını kullanan gezici çözümleri sunmaktadır. Bu ekstra mesaj FKP için sadece RTCM 2.3 içerisinde mevcuttur. Buna karşılık VRS bu ekstra mesajı, hem RTCM 2.3, hem RTCM 3.0, hem de CMR içerisinde gönderir. Altı yıllık VRS veri formatı tecrübemiz sonucu, günümüzde tüm GPS üreticileri Trimble VRS veri dizisini kullanan gezici alıcıları üretmektedirler.

## RTCM AĞ ÖNERİSİ

VRS metodu dünyaca en çok kullanılan ortak metod olduğu için, RTCM komitesi ağ RTK düzeltmelerinin yayınının telsiz sistemleri ile internet bazlı çözümlere uygun bir ağ önerisi üzerinde çalışmaktadır. Trimble, RTCM ağ çalışma grubunun aktif bir üyesi olup, bu format teklifine önemli derecede katkıda bulunmaktadır. Bu önerinin esası, mevcut RTCM 3.0 standardının 31 harici istasyona kadar ek mesajları içerecek şekilde genişletilmesidir. RTCM komitesi henüz önerilen mesaj formatlarını onaylamamış ve görüşmeler sürmektedir. Ayrıca RTCM komitesine katılan firmalar tarafından gezici uyuşum testleri de yürütülmektedir. RTCM komitesi formatı halen bitirip yayınlamadığı için, Trimble'da önerilen bu formata uygun ağ server ve gezici çözümlerini piyasaya arz etmemiştir. Trimble stratejisi RTCM komitesi tarafından onaylanmış ,kullanıcılarımıza ek kullanım avantajı sağlayan ve diğer üreticiler ile uyumlu, standart formatları desteklemektir.

RTCM ağ önerisi, ağ RTK için geliştirilmiş bir yayın çözümü vaad ettiği için, GSM ve GPRS çözümlerine de uygulanabilir. Ancak RTCM 3.0 önerisi için gerekli band genişliği, VRS çözümüne göre çok daha büyüktür. Bir örnek vermek gerekirse: 12 uydunun izlenmesi durumunda VRS metodu RTCM 3.0 için saniyede 2472 bitlik bir band genişliğine ihtiyaç duyar. Buna karşılık RTCM 3.0 ağ önerisi 8- istasyonlu bir ağ için 9661 bit, 32 istasyonluk bir ağ için ise 34712 bitlik bir band genişliği, gerektirecektir. VRS ile karşılaştırılabilir performansı görebilmek için, bu band genişlikleri ana istasyonda ve ağ bağlantılarında 1 saniyelik bir güncelleme hızı esas alınarak hesap yapılmıştır. Daha düşük bir ağ

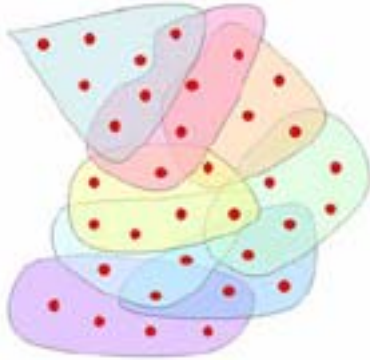
düzeltilmesi güncelleme hızı, daha düşük band genişliğine neden olabileceksede, ek bias'ların (farklı öngörü) ortaya çıkmasından dolayı konum çözümünü tehlikeye atabilecektir. Ayrıca GSM çözümündeki 9600 baud sınırı, 8 istasyonlu bir ağın 1Hz güncelleme yoğunluğunu kaldıramayacaktır. GPRS'in böyle bir sınırlaması olmamasına rağmen, yine de mevcut VRS metodundaki paket boyutlarına yakın küçüklükte , paketler tercih edilmeli, ve bu şekilde Internet/GPRS sisteminden geçen paket sürelerini küçülterek güvenilirliğin artırılması hedeflenmelidir.

Ağ Formatı	8 istasyon / 12 uydu	32 istasyon /12 uydu
VRS RTCM 2.3	6845 bps	6845bps
VRS RTCM 3.0	2742 bps	2742 bps
SAPOS FKP	6850 bps	6850 bps
RTCM ağ önerisi	9961 bps	34712 bps

Tablo 1: farklı ağ formatları için gereken band genişlikleri.

RTCM 3.0 Ağ önerisinde, tüm datalar için 1Hz'lik güncelleme hızında, optimum gezici performansına ulaşabilmek için (VRS tekniğindeki kadar) , tek bir veri dizisinde ancak 7'den az istasyona sahip bir alt-ağ verisi ancak geziciye gönderilebilir. Bu geziciye gelen veri miktarını, saniyede 9600 baud'un altında tutacağından, birçok radyo modem ve GSM sistemi çalışabilecektir. Ancak orta boyutta bir ağın bugün ortalama 50 adet istasyondan oluştuğunu düşünmelisiniz.. Bu durumda servis sağlayıcının tüm ağı kapsayacak şekilde ortalama 16 adet veri dizisini oluşturması gerekecektir. Bu yaklaşım, servis sağlayıcının birbirinin üzerine binen istasyonlarla da çalışacağı

olasılığını göz önüne almıştır. Bu nedenle 7 istasyondan 4 adedinin, diğer alt-ağların da elemanı olacağını düşünmeliyiz. (Şekil 1.). Bu durumda eğer servis sağlayıcı GSM,GPRS veya tek yönlü yayın sistemini kullanmayı seçerse, kullanıcının konumunun hangi alt- ağda olduğunu bilmesi gerekir. Tek yönlü haberleşmede bu bilinemeyeceğinden, her alt-ağ için 16 ayrı aranacak numara, veya 16 farklı GPRS giriş noktası, veya 16 ayrı frekansta yayın sağlamak zorunda kalacak, ve arazideki gezici operatörü bunlardan hangisini kullanacağını seçimini kendisi yapacaktır. Çift yönlü haberleşmede gezici konumunu server'a gönderdiğinden, bu seçim server tarafından otomatik olarak yapılabilir. Örnekdeki gibi, 50 istasyonlu bir ağda RTCM 3.0 önerisinin, VRS yöntemi ile kullanımı bunu sağlayacaktır. Bu RTCM 3.0 ağ önerisi ile, gezici yerini büyük oranda değiştirdiğinde yeni alt-ağ verisinede otomatikman geçiş sağlanacaktır.



Şekil 1: RTCM 3.0 ağ önerisi için, 32 istasyonlu örnek bir ağ. (1Hz veri güncelleme hızı için 8 alt-ağa bölünmüştür.)

RTCM 3.0 Ağ önerisi, ağ server'inde oluşturulan komple filtre durumunu kullanılmamaktadır. Sadece server'da elde edilen belirsizlikleri (ambiguity) kullanmakta, ve bunları taşıyıcı faz ölçmelerinden çıkarmaktadır. (Carrier Phase). Diğer bir deyişle, RTCM ağ önerisi dizaynı, ana istasyondaki kod

ve taşıyıcı faz verileri ile dış istasyonların taşıyıcı faz verilerini, belirsizlikler önceden ayıklanmak suretiyle gönderecek şekildedir. (Şekil 3.)Bu veriyi alan gezici aşağıdakileri gerçekleştirir:

- Geometrik ve ionosferik etkilerin basit enterpolasyonu
- Ağ serverinin ağ bilgilerini RTCM 3.0 ağ önerisi formatına çevirmeden önceki tüm hata kaynaklarını içeren kompleks modele benzer bir model oluşturur.

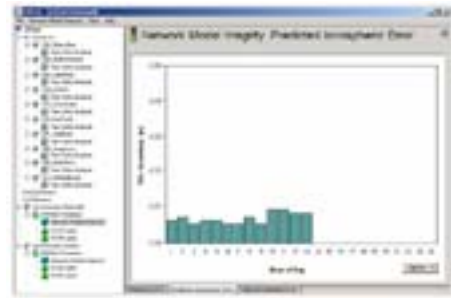
RTCM 3.0 Ağ önerisi formatının arkasında yatan basit fikirlerden birisi, bir alt-ağ ölçü verilerinin sıkıştırılmış olarak geziciye gönderilmesi ve gezicinin farklı hata kaynakları için kendi ağ hesaplarını yapmasını sağlamaktır. Ancak bunun bir dezavantajı, genellikle ağın sadece bir alt bölümüne ait verilerin gönderiliyor olmasıdır. RTCM 3.0 ağ önerisinin diğer bir dezavantajı ise, sadece belirli bir zamana ait ionosferik ve geometrik hataların gönderilmesidir. Gezici doğrudan server veri dizisini almaya başladığında, sistematik etkilere ait hemen bir bilgi sahibi olamamaktadır. İonosferik ve özellikle troposferik modellerde , parametrelerin tesbiti için zaman gerekmektedir. İyi bir model hassasiyetine ulaşmak için 15 dakika veya daha uzun bir zaman gereklidir. Ancak bu süre içerisinde, sistematik hatalar gereken güvenli düzeyde modellenirler. VRS yönteminde, gezicinin bu modelleri oluşturmasına gerek yoktur, çünkü bu modeller sürekli olarak server'da oluşturulmakta ve gezici bağlandığı anda bu hassas modelleri kullanmaktadır. Trimble VRS yaklaşımının kullanımı, gezicinin en güncel ve tüm ionosferik, geometrik ve yörüngesel hataları kullanan en iyi modele erişiminin güvencesidir ve bu her kullanıcıya özgüdür.

RTCM 3.0 ağ önerisinin, gezici konum performansına etki edebilecek diğer dezavantajları şunlardır:

- RTCM 3.0 ağ önerisi, sadece gözlem farklarını yayınlamakta, ve ağdaki belirsizliklerin (Ambiguity fix) çözülmüş olmasını istemektedir. Eğer belirsizlikler çözülemez ve RTCM 3.0 ağ önerisi formatı yayın (broadcast) yöntemi olarak kullanılıyorsa, gezici sadece ana istasyonun verisini alıyor olabilir ve bu istasyon örneğin 300km uzakta olabilir. Çift yönlü haberleşme kullanan VRS yaklaşımında olduğu gibi, tek yönlü bir haberleşme sisteminde benzeri problemlerin düzeltilmesi olanağı yoktur. VRS yönteminde , eğer bir ağ belirsizlik çözümü problemi oluşmuşsa, GPSnet her zaman en yakın referans istasyonuna ait modellenmemiş veri dizisini gönderecektir. Bu en yakın istasyonun geziciye mesafesi ,RTCM 3.0 ağ önerisindeki ana istasyon gibi çok uzakta değil, birçok durumda 30km'den daha yakında olacaktır.
- Veri güncelleme aralığı düşürülmüş (örneğin 10san.) şartlarda RTCM ağ önerisi çözümü, gezici için gönderilen veri dizisi içerisinde gecikmeden dolayı bias oluşturabilecektir. Özellikle server üzerinde yük oluşmuşsa ve bunları göndermeye çalışıyorsa bu durum daha belirgin hale gelecektir. Böylece gezici'de 20 saniyeye varan gecikmeler ile karşılaşılabilir.
- RTCM 3.0 ağ önerisi, ana istasyon ile gezicinin aynı uyduları izlemesine ihtiyaç duyar. Ancak ana istasyon çok uzaktaysa, bu şart sağlan-

mayabilir. 300km'e kadar uzanan, tipik ağ konfigürasyonlarında tepe açıları 4° ye varan farklılıklar gösterebilir. İzlenen uydunun yörüngesine bağlı olarak, ilgili uydunun 6° den 10° ye inmesi 30 dakikalık süre alabilir. Bu nedenle gezici operatörü, izlediği uydunun daha ana istasyon tarafından görülebilir olmaması nedeni ile çözümsüz kalabilir. RTCM 3.0 ağ önerisinde bu problem, sadece küçük alt-ağlar oluşturularak çözülebilir.

Tüm hata durumları ile modellerin sürekli güncellenmesi nedeniyle, Trimble GPSNet 1 Hz hızında sürekli bir güvenilirlik izlemesi (Integrity monitoring) gerçekleştirir.. Bu güvenilirlik izlemesi, GPSNet kullanan servis sağlayıcılar açısından çok yüksek bir ağ servis kalitesi sağlar. Arazide bir RTK kullanıcısı, bağlandığı andan itibaren bu izlemenin avantajlarından faydalanmaya başlar.



Şekil 2: GPSNet içerisinde bir güvenilirlik izleme örneği- Ağ içerisindeki ionosferik artık hataları.

## GSM/GPRS MALİYETLERİ

Yukarıda anlatıldığı üzere, RTCM 3.0 ağ önerisi, veri aktarım band genişliğini arttıracaktır. Aylık sabit GPRS ücreti yerine, aktarılan veri miktarına göre faturalandırma yapan ülkelerde, maliyet özellikle artacaktır. Almanya’da GSM haberleşmesinin dakikası 0.15€ civarındadır. Buna karşılık MB başına GPRS maliyeti 1.84€’dur. Bir kullanıcının ayda 20 gün ve günde 8 saat çalıştığını varsayarsak, aylık yaklaşık maliyetler aşağıdaki gibi olur:

- 1- GSM için 1440€
- 2- RTCM 3.0 formatı VRS bağlantısı kullanan GPRS için, aylık 420€
- 3- 7 istasyonlu bir ağda, RTCM ağ önerisi ve GPRS kullanımı için, aylık 1270€
- 4- 32 istasyonlu bir ağda, RTCM ağ önerisi ve GPRS kullanımı için, aylık 4636€

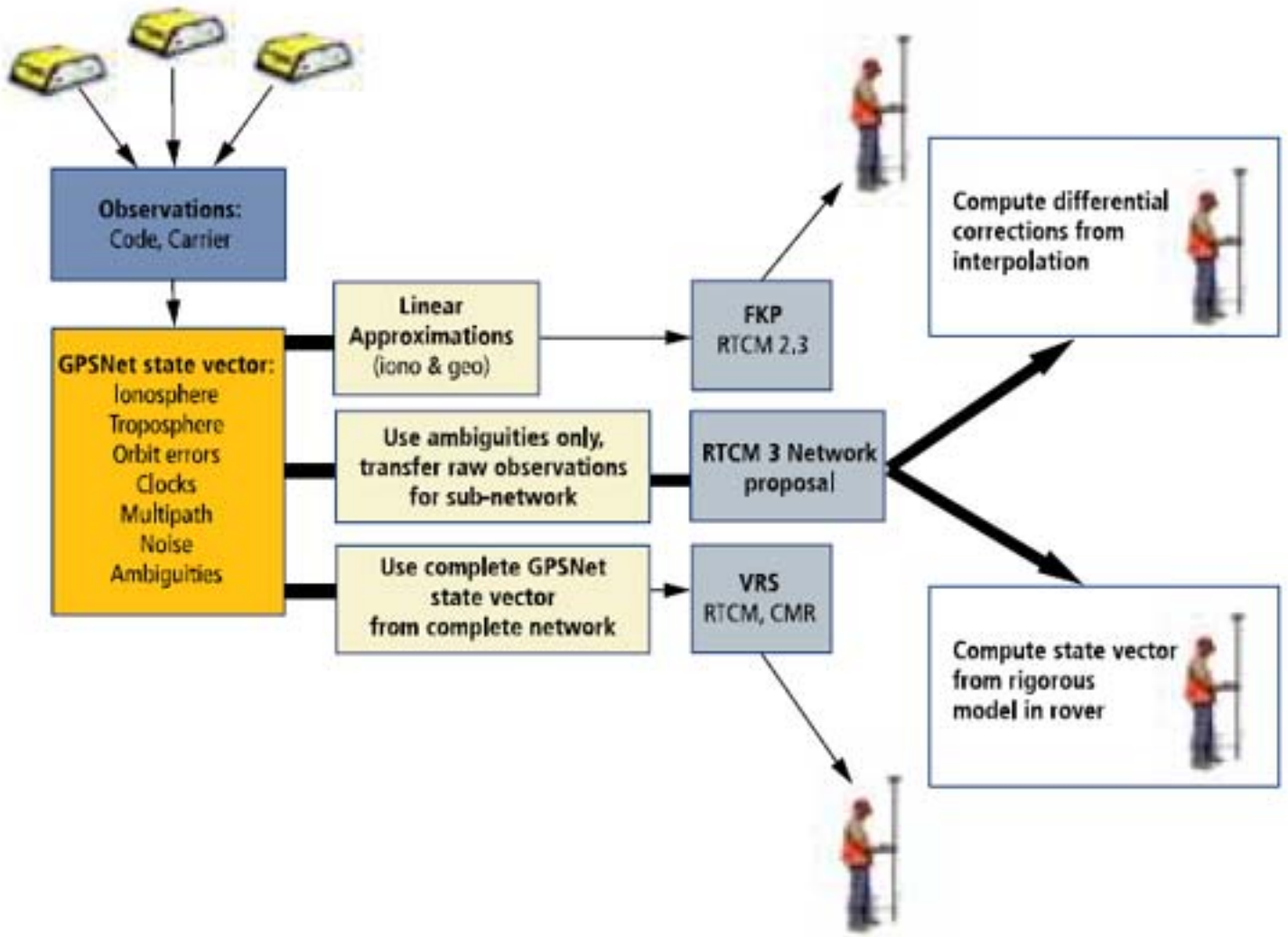
3. ve 4. şıklarda, VRS ile doğru bir karşılaştırma yapabilmek için, güncelleme hızı 1Hz olarak alınmıştır. Kolaylıkla görülebileceği üzere RTCM 3.0 formatı kullanan VRS metodu, hem maliyet açısından hem de band genişliği güvenilirliği açısından diğerlerine göre son derece avantajlıdır. RTCM veri aktarımını geziciden otomatik olarak kontrol eden, Trimble metodu .”Gerektiğinde-RTK” (RTK-on-Demand) ile maliyet daha da düşmektedir. Bu patentli metod ile, gezicide sadece gerekli olduğu zaman veri transferi yapılmaktadır. Örneğin statik olarak veri alınıyorsa, gezici bir noktadan diğerine giderken , server’dan herhangi bir veri aktarımı gerçekleşmemektedir. Server , gezici bir sonraki noktada

durduğunda yeniden veri transfer etmeye başlamaktadır.

## ÖZET

RTCM 3.0 Ağ önerisi, ağ RTK teknolojisine önemli bir adım atılacak bir yöntemden ziyade, ağ RTK yayınları için başka bir yaklaşımı ortaya koymaktadır. RTCM komitesi bu formatı kullanıma sunduğu an Trimble bunu desteklemeye karar vermiştir. RTCM 3.0 Ağ önerisi, radyo modem ve Internet Multicast çözümleri gibi, broadcast (yayın) çözümleri vaad etmektedir. Ayrıca GSM ve GPRS kullanarak çift taraflı iletişimli olarak da kullanılabilir.

Ancak bizim fikrimize göre VRS her zaman tercih edilecek yöntem olmaya devam edecektir. Bunun ana nedenleri olarak, daha az band genişliği ile veri güvenilirliği ve buna bağlı olarak maliyet düşüklüğü, kullandığı kompleks modelleme ile her gezici için gerçeğe en yakın ağ bilgisi sağlaması sayılabilir.



Resim 3: GPSNet kullanarak referans istasyonlarından geziciye olan ağ düzeltmesi akış diagramı