

ULUSLARARASI GÖKSEL REFERANS SİSTEMİ (ICRS)

(International Celestial Reference System (ICRS))
http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/ICRS_doc.php

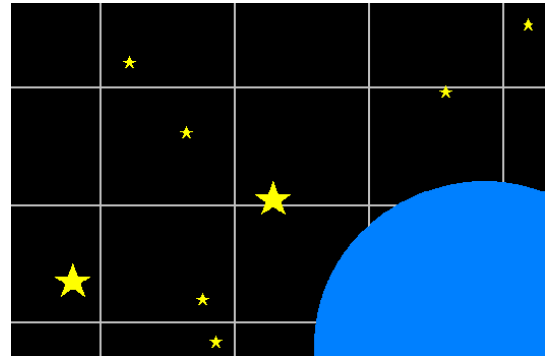
Uluslararası Göksel Referans Sistemi (ICRS) yüksek hassasiyetli konum astronomisi için Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) tarafından kabul edilen temel göksel referans sistemidir. ICRS'nin orjini Güneş Sistemi'nin kütleler merkezinde ve "uzaya sabitlenmiş" eksen yönlerine sahiptir. ICRS, şu ana kadar gök cisimlerinin konumlarını ve hareketlerini ifade eden en uygun koordinat sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

- **Altyapı**
- **20. Yüzyılın Sonlarındaki Gelişmeler**
- **ICRS Uygulanması**
 - **Ekstragalaktik Çerçevenin Tanımlanması**
 - **Optik Dalgaboylarında Çerçeve**
 - **Standart Çözüm Yolları (Algoritmalar)**
 - **Diğer Sistemlerle İlişkisi**
- **ICRD'deki Veriler**
- **IAU Kararların Yetki Sınırı**
- **Referanslar**

Altyapı

ICRS, orjini Güneş Sistemi kütleler merkezinde ve eksenleri "uzaya sabitlenmiş" (kinematik olarak dönmeyen) yüksek hassasiyetli bir koordinat sistemidir. Bir dizi tanımlamalardan oluşmuştur. Tanımlamalar bir metrik tensör içerir. Eksen yönlerini temellendirmek ve gerçeklemek için bir dizi kurallar -herbirinin koordinatı çok hassas bilinen referans cisimler listesi, her hangi bir yer ve zaman için bu koordinatları gözlenebilir hale dönüştürmek için standart modeller ve algoritmalar- oluşturulmuştur.

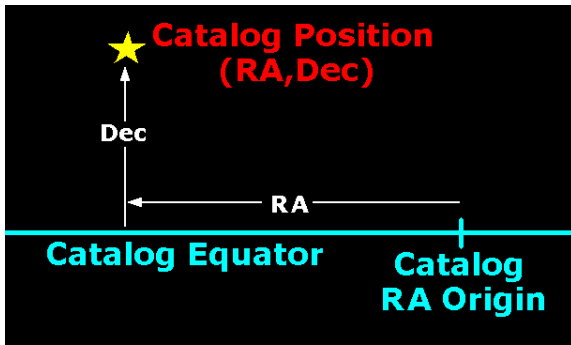
Bu bağlamda, astronomide kullanıldığı şekliyle bir referans sistem ve bir referans çerçeve arasındaki ayırımın yapılmasında fayda vardır. Bir referans sistemi bir göksel koordinat sisteminin nasıl oluştuğunun bütün tanımlamalarını üzerinde taşır. Referans sistemi koordinat sisteminin orjinini ve temel düzlemlerini (veya eksenleri) tanımlar. Sistem aynı zamanda sisteme uyan gözlenebilen nicelikler ve referans veri arasındaki dönüşümde kullanılan bütün sabitleri, modelleri ve algoritmaları (çözüm yollarını) niteler. Bir referans çerçeve, pratikte bir referans sistemi gerçekleyecek gökyüzünde yeri sabitlenmiş bir dizi noktalardan ibarettir.



Örneğin, bir astronomik referans sistemin temel düzlemi geleneksel olarak Arz'ın ekvator düzleminin, belirli bir tarihte, sonsuza uzatılmasıyla oluşur. Bir yıldızın veya bir cismin

deklınasyonu bu düzlemden kuzeye ve güneye olan açısal uzaklıktır. Rektasansyon, değeri nin sıfır olduğu belirlenmiş bir referans noktasından ekvator üzerinde doğuya doğru ölçülen açısal uzaklıktır. Rektasansyonun başlangıcı olan bu referans noktası geleneksel olarak ekinoks noktasıdır. Güneş gökküresinde yıllık hareketini yaparken -güneyden kuzeye geçerken- bu düzlemi ekinoks noktasında keser. Güneş'in görünen yıllık hareketi Arz'ın yörünge düzlemi ekliptik üzerindedir. Bundan dolayı ekinoks, ekvator ve ekliptik düzlemlerinin kesim noktasıyla tanımlanan düğüm çizgisi boyunca uzaydaki doğrultudur. Ekinoks gökküresi üzerinde bu düzlemleri temsil eden büyük dairenin iki kesim noktasından biridir. Bu düzlemlerin her ikisi de hareket ettiğinden bunların tanımladığı koordinat sistemleri düzlemlerle ilişkili bir tarihe sahip olmalıdır. Böyle bir referans sistem bundan dolayı belirli bir tarihteki ekvator ve ekinoksu tanımlamalıdır.

Şüphesiz böyle bir referans sistemi, iki düzlemin hareketinin mükemmel olmadığının yani Arz'ın hareket teorilerinin bilinmesiyle ideal olabilir. Gerçekte, bu düzlemlerin çok iyi bir tanımı yüksek duyarlıklı çalışmalar için problemlidir. Hatta temel düzlemler Arz'ın hareketlerine her hangi bir referans verilmeksizin tanımlansalar bile özel bir anda düzlemleri gökküresi üzerinde büyü lü bir şekilde noktalamanın da bir yolu yoktur. Bundan dolayı, pratikte, -koordinatları iyi belirlenmiş sabit cisimler seti- özel bir referans çerçeve kullanırız. Amaç astronomik referans sisteminin pratik temsilini sağlamaktır. Plan tamamen Arz'sal referans sistemlerin, Arz yüzeyi üzerindeki araştırma kontrol istasyonları kullanılarak nasıl kurulmuşsa burada da durum aynıdır.



En genel olarak, bir referans çerçeve özel bir epokta ("J2000", 1 Ocak 2000 'de 12^h TT için) Güneş Sistemi kütleler merkezinden bakıldığında yıldızlar veya ekstra galaktik cisimlerin hassas konumlarının (ölçülebiliyorsa hareketler dâhil) bir kataloğundan ibarettir.

Rektasansyon ve deklınasyon ile ifade edilen her bir cismin anlık koordinatları, cisimlerin katalog ekvatorundan ve rektasansyonun başlangıç noktasından olan açısal uzaklıklarını gösterir. (Kataloğun rektasansyon orjini daha önce katalog ekinoksu olarak gösterilmekteydi, şimdi artık kullanılmamaktadır.) Kataloğdaki her hangi böyle iki cisim, gökküresinde küresel koordinat sisteminde, bundan dolayı tek bir şekilde, bir referans çerçeveye göre, yönlendirilir.

Modern bir astrometrik katalog çok sayına (N) cismin verisini ihtiva ettiğinden koordinat sistemi çok iyi tayin edilir. Bir katalog tarafından tanımlanan referans çerçevesinin kalitesi mümkün bütün cisim çiftlerinin (yaklaşık $N^2/2$) koordinatlarına kadar genişletilmesine bağlıdır. Bu referans çerçeve, beklenen rastgele hatalar içinde, özdeş ekvator ve rektasansyon tanımlamaya hizmet eder. Tipik olarak her bir katalog sistematik hatalar barındırır. Uzayın aynı bölgesindeki cisimler için konumdaki hatalar yön ve büyüklük olarak ya da parlaklıkta (akı) veya renkte (spektral indekste) benzer olur. Sistematik hataların anlamı referans çerçevenin zamanla üzerine sarılması olayıdır. Farklı sınıf cisimler için etkiler farklıdır. Aşıkârdır ki, bir katalog oluşturulurken sistematik hataları minimuma indirmek rastgele hataları minimuma indirmek (aksi durumda daha fazla) kadar önemlidir.

Bir referans çerçevenin yararlı olabilmesi için gerçek gözlem zamanına uyumlu olmalıdır. Bu keyfi seçilen tarihler ve zamanlar için katalog cisimlerinin geosentrik koordinatlarının hesabını

gerektirir. Cisimlerin hareketinden çıkardığımız hassasiyet (hareket sıfır varsayılmadığı sürece) bu hesaplamada esas faktördür. Yani öz hareketlerde elde edilen hassasiyet ne kadar iyiye sonuçlar o kadar iyi olacaktır. Astrometrik yıldız katalogları, birim zamanda rektesansyon ve deklinasyonda açısal hız olarak ifade edilen herbir yıldızın uzay hareketinin gökküresi üzerindeki izdüşümü olan öz hareketleri listeler. Tablolanmış öz hareketler asla mükemmel olmadığından (hatta sıfır varsayılsa bile) her hangi göksel referans çerçeve zamanla bozulur. Buna ilave olarak, öz hareketteki sistematik hatalar zamana bağlı burulmalar ve çerçevede sahte dönmeler üretir. Bundan dolayı, öz hareketlerin hassasiyeti ve kararlılığı yıldızlardan itibaren tanımlanan referans çerçevenin kalite, sıhhat ve uzun ömürlülüğü açısından önemlidir.

Güneş Sistemi cisimlerinin konumları keza bir referans çerçevenin tanımında kullanılabilir. İlgili her bir Güneş Sistemi cismi için, basitçe bir tablo veya zamanın bir fonksiyonu olarak cismin göksel koordinatlarının dosyası (veya böyle bir tabloyu veren bir algoritma) yani bir efemeris oluşturulur. Bir veya birden fazla Güneş Sistemi cisminin efemerisleriyle tanımlanan bir referans çerçeve *dinamik referans çerçeve* olarak isimlendirilir. Efemerisler Arz'ın keza diğer Güneş Sistemi cisimlerinin hareket teorileriyle birleştirilerek kullanıldığından dinamik referans çerçeveler çok temel bir tarzda hareketli ekvator, ekliptik ve ekinoksu bünyesinde barındırır. Bundan dolayı dinamik referans çerçeveler yıldız katalog referans çerçevelerini (yıldız konumları sistematik olarak düzeltilir) yıldızların ve gezegenlerin anlık gözlemlerine dayanarak uygun bir şekilde ayarlamak için kullanılır. Bununla beraber dinamik referans çerçeveler günlük astronomik gözlemlere ait bir koordinat sistemi oluşturmak için çok pratik değillerdir. ICRS bir dinamik referans çerçeveyi içine almaz.

Referans çerçeveler ve referans sistemlerin tanımları genelde üç koordinat eksenine göredir. Bunlar alışılmış göksel koordinat sistemlere karşılık gelen sağ-el kartezyen eksen setidir. xy-düzlemi ekvatorudur. z-ekseni kuzey gök kutbuna, x-ekseni rektesansyonun başlangıç noktasına yönelir. Her ne kadar prensipte bu bize dik koordinat sisteminde her hangi bir gök cisminin konumunu tanımlamamıza imkân sağlasa da uzaklık ölçeği Güneş Sisteminin dışı için yüksek hassasiyetle kurulamamaktadır. Bir referans sistem gerçekte, iki konvansiyonel astronomik açısal koordinatı rektesansyon ve deklinasyonu uzayda gözlenen gerçek noktalarla üstüste çakışmasıyla tanımlar.

20. Yüzyılın Sonlarındaki Gelişmeler

Göksel referans sistemlerin kurulması IAU tarafından koordine edilmektedir. Önceki astronomik referans sistem IAU Astronomik Sabitler Sistemi ve ilgili aloritmalarla (Kaplan 1982) beraber gezegen hareketlerinin gözlemlerine dayanan J2000.0 ekvator ve ekinoksuna dayanmaktaydı. Pratik amaçlar için bu sistemi şekillendiren referans çerçeve Beşinci Temel Katalogdu (FK5) (Fricke ve ark., 1988). FK5, parlaklığı 7.5 kadire kadar giden 1535 yıldızdan oluşmuş bir katalogdu. Katalogun 9.5 kadire kadar giden 3117 ilave yıldız içeren bir eki de vardı. FK5, FK3 ve FK4 kataloglarından sonra gelen katalogdur. Bu katalog, görünür bandta yapılan tüm meridyen gözlemlerinden oluşturulan katalogların bir derlemesi sonucudur. 1988'de FK5 yayınlandığı zaman yıldız konumlarındaki belirsizlikler gökyüzünün büyük bir bölümü için yaklaşık 30-40 miliyansıyesi mertebesindeydi. Fakat sistematik gidişat gözönü alındığında hatalar oldukça kötüydü.

1970'lerin başlarında çok hassas geniş-açı (bütün-gökyüzü) astrometrisi sadece optik bölgede değil aynı zamanda Çok Uzun Tabanlı İnterferometri (Very Long Baseline Interferometry (VLBI)) tekniği ile radyo dalgaboylarında ve pulsar zamanlaması da kullanılarak yürütülmekteydi. Gökyüzünün tamamı için VLBI kataloglarında listelenen radyo kaynaklarının

konumlarındaki belirsizlikler şu anda bir milyaysaniyesinden (5×10^{-9} radyan) daha küçüktür. Bazen bu değerin on katı daha iyi de olabilmektedir. Buna ek olarak, bu radyo kaynakları çok uzak ekstra galaktik cisimler olduklarından (çoğu kuazar) ölçülebilecek gerçek bir hareket göstermeleri beklenmemektedir. Dolayısıyla VLBI konumuyla tanımlanan bir referans çerçeve yıldızlar veya pulsarlar gibi galaktik cisimlerle tanımlanan bir referans çerçeveye göre daha hareketsiz yani eylemsiz ve doğal olarak yavaş dönmeye daha az konu olmaktadır.



VLBI kataloglarında rektasansyonun orjini yani başlangıç yeri bir derece keyfi olduğundan bazı dezavantaja sahiptir. VLBI kataloglarında, VLBI'nin ekliptik düzlemine daha az hassas olmasından dolayı, gerçek bir ekinoks yoktur. VLBI'de rektasansyonun başlangıç noktası bir katalogdan diğerine geçerliliğini kaybetmeyecek şekilde taşınmıştır. Orijinal olarak 3C 273B radyo kaynağının, Ay örtülmeleri kullanılarak ölçülen rektasansyonu temel alınmıştır.

1980'lerin ortalarından beri radyo referans çerçevelerin hassasiyeti ve kararlılığından dolayı, Arz'ın astronomik rotasyon ölçümleri –ki bu sayede astronomik zaman tayin yapılmakta- zamanla önemini yitirecek olan klasik yıldız transit metoduna dayanarak yapılan VLBI gözlemlerine dayanmaktaydı. Böylece durum, zamanla temel astronomik referans çerçevesinin (FK5) tanımı daha

hassas ve daha önemli astronomik gözlemler karşısında önemsiz olmaya başladı. Buna ilave olarak, VLBI, eski sistemin bir parçası olan Arz'ın presesyon ve nütasyon modellerinin modern astrometrik hassasiyeti karşısında yetersiz kaldığını ortaya çıkardı. Özellikle, “presesyon sabiti” –Arz'ın dönme ekseninin uzay yönelimindeki uzun dönemli değişikliklerin bir ölçüsü- yüzyılda yaklaşık 0.3 yaysaniye kadar fazla tahmin edilmiştir. Bununla birlikte, 1989 yılında fırlatılan Avrupa Uzay Ajansına ait Hipparcos astrometrik uydusu optik bölgede yeni, çok hassas yıldız koordinat seti sağlamıştır.

Böylece, 1988 yılından itibaren birkaç IAU çalışma gurubu yeni temel bir astronomik referans sistem için gerekliliklerin neler olması üzerine çalışmaya başladı (Lieske & Abalakin 1990, Hughes et al. 1991). 1991, 1994, 1997 ve 2000 yıllarında (IAU 1992, 1996, 1999, 2001) IAU'ya yapılan önermeler sonucu ICRS için etkin bir şartname oluşturuldu. ICRS'nin eksenleri ölçülebilir öz hareketleri olmadığı varsayılan özel bir galaktik cisimler setinin kabul edilen konumlarıyla tanımlandı. ICRS'nin eksenleri Arz'ın dinamiği ile tanımlanan J2000.0 ekvator ve ekinoksuna dayanmakta ve 0.1 yaysaniyesinden daha iyi tutarlılıkta sonuç vermekteydi. Bununla birlikte ICRS'nin eksenleri uzayda sabit doğrultular olarak gözönüne alınabileceği anlamındadır. Yani Arz dinamiğinden bağımsız bir şekilde var olan veya verilen herhangi bir anda onları tanımlamakta kullanılan özel cisimler setinden bağımsız olarak düşünülebilir. ICRS'nin kullanımı, yükseltilmesi, sürdürülebilmesi ve genişletilmesi IAU Bölüm 1 (Temel Astronomi), özellikle Komisyon 8 (Astrometri) ve Komisyon 19'un (Arz Rotasyonu) sorumluluğunda bulunmaktadır. IAU tarafından kurulan Uluslararası Arz Rotasyon ve Referans Sistem Servisi (IERS) ve Uluslararası Geodezi ve Geofizik Birliği (IUGG) keza bu konu ile ilişkilidir. IERS astrometri ve geodezi için VLBI-tabanlı bilim üretir.

ICRS Uygulanması

Ekstragalaktik Çerçevenin Tanımlanması

Uluslararası Göksel Referans Çerçeve (ICRF veya ICRF1) VLBI ile S ve X bandlarında (13 ve 3.6 cm dalgaboylarında) (Ma & Feissel 1997) hepsinin şiddeti 0.1 Jy'den daha büyük 608 ekstragalaktik radyo kaynağının kabul edilen konumlarının bir kataloğudur. Çoğunun zayıf optik bileşeni (görünen parlaklıkları 18 kadirde daha sönük) vardır ve büyük çoğunluğu kuazardır. Bu cisimlerin 212'si ICRS'nin eksenlerinin yönlerini Güneş Sistemi kütleler merkezinde orjinlenecek şekilde oluşturmak için tanımlanmış kaynaklardır.

Tanımlanan kaynakların konumlarındaki belirsizlikler 0.5 miliyaysaniyesi mertebesindedir. Sistemin bütünü gözönüne alındığında eksenlerin yönelimindeki hassasiyet 0.02 miliyaysaniyesine kadar iner. Aşağıda tanımlandığı üzere, bu eksenler, geleneksel "J2000.0 ekvator ve ekinoks" olarak tanımlanan eksenlere çok yakın olarak karşılık gelir.



Uluslararası Arz Rotasyon Servisi (IERS) ICRF'deki radyo kaynaklarını gözler. Ancak, kaynakların çoğu akı ve yapı bakımından değişkenlikler gösterir. Bu cisimlerin emisyon merkezleri uzayda lineer olmayan veya sabit hızda yapay hareketler gösterebilir. Konu ile ilgili Ma ve ark. (1998) çalışmasının 8. bölümüne bakılabilir.

İlave gözlemler ve analizler sonucunda, ICRS Extensions 1 ve 2 geliştirilmiştir (Fey et al. 2004). Tanımlanamayan kaynakların konumları iyileştirilmiş ve yeni kaynaklar eklenmiştir. 212 tanımlı kaynağın konumu yani pozisyonları değiştirilmeden bırakılmıştır.

2006 yılında çerçevenin tamamının hassasiyeti ve eksen yöneliminin sabitlenmesi için büyük bir güncellemeye gidilmiştir. Kaynakların listesinin güncellenmesi ve koordinatları için bir IAU çalışma gurubu kurulmuş bu çalışma gurubu kaynak sayısını arttırarak koordinatları tekrar gözden geçirmiştir. Oluşturulan son liste 2009'da IAU tarafından kabul edilerek yeni adı Uluslararası Göksel Referans Çerçevenin İkinci Gerçekleştirilmesi (Versiyonu) (ICRS2) (Ma et al. 2009) adını almıştır. Bu ICRS2, aynı zamanda ICRS'yi S ve X bandlarında uzaysal yönelimlerini tanımlayan orijinalinin de yerini almış oldu.

ICRF2, 3414 kaynağın konumları için yapılan çözüm sonucu içlerinden seçilen 295 tanımlanmış kaynaktan oluşmaktadır. Tanımlanan kaynaklardan sadece 97'si keza ICRF1'de tanımlanan kaynaklardır. Konumdaki belirsizlikler önemli öncüde azaltılmıştır. Yeni liste özellikle güney yarımkürede olmak üzere çok düzgün bir şekilde gözyüzüne dağıtılmıştır. ICRF2'yi tanımlayan kaynakların herşey gözönüne alındığında konum hatasının 0.1 miliyaysaniyesini geçmeyeceği beklenmektedir. Eksenlerin tamamının yönelimi 0.010 miliyaysaniyesi içinde kararlı olduğu ve ICRF1 ile de uyumlu olduğu tahmin edilmektedir.

Optik Dalgaboylarında Çerçeve

ICRS, Hiparkos Kataloğundaki bazıları 12. görünen kadire kadar sönük olan 118 218 yıldızla optik dalgaboylarında gerçekleştirilmiştir. ICRS'nin gerçekleştirilmesi için karmaşık olmayan öz hareketleri iyi tayin edilen yıldızlar (içlerinde bilinen hiçbir çift yıldız yok) kullanılmıştır. Bu altküme, Hiparkos Kataloğundaki yıldızların %85'ini kapsamaktadır ve Hiparkos Göksel Referans Çerçeve (HCRF) olarak anılır. Hiparkos yıldız koordinatları ve öz hareketler ICRS koordinat sistemi içinde verilir fakat J1991.25 epogu için listelenmiştir. (Yani katalog 2 Nisan 1991 tarihinde alınan uzayın anlık görüntüsünü etkin bir şekilde temsil eder.) Katalog epogunda, 9. kadirde daha parlak yıldızların Hiparkos belirsizliklerinin medyan değerleri konumda 1 miliyaysaniyeden ve öz harekette 1 miliyaysaniye/yıl'dan daha iyidir ([ESA 1997](#), [Mignard 1997](#)). O epokta bütün eksenlerin ICFR'ye yöneliminin 0.6 miliyaysaniye içinde, herhangi yapay dönmenin veya burulmaların da 0.25 miliyaysaniye/yıl'dan daha küçük olduğu tahmin edilmektedir. 2010 epoguna dönüştürüldüğünde en parlak Hiparkos yıldızlarının tipik konum hatası yaklaşık 20 miliyaysaniyedir. Orijinal Hiparkos gözlemlerinin tamamı tekrar gözden gerildiğinde ([van Leeuwen 2007a](#), [2007b](#)) kökten iyileştirilmiş astrometrik verileri içeren yeni bir katalog ortaya çıkmıştır. Bununla beraber, IAU resmi olarak HCRF'nin orjinal Hiparkos katalogu ile değişmesi için herhangi bir adım atmamıştır. ICRS'in daha sönük parlaklıklara ve diğer dalgaboyu bantlarına genişletilmesi ICRS'deki Veriler başlığı altında aşağıdaki bölümde tanımlanacaktır.

Standart Çözüm Yolları (Algoritmalar)

IAU 2000 yılındaki genel toplantısında, (1) Güneş Sistemi ve (2) Arz için, genel relativite çerçevesi içinde, herbiri için metrik tensör formunda ve aralarında 4-boyutlu uzay-zaman dönüşümlerini de belirleyen bir uzay-zaman koordinat sistemi tanımlamıştır (IAU 2001). Bunlardan birincisi Güneş Sistemi Kütleler Merkezli (BCRS) diğeri Arz Merkezli Göksel Referans Sistem (GCRS) olarak isimlendirildi. IAU'nun BCRS ve GCRS tanımları sadece relativite ile ilgili olduğundan iki ayrı referans sistemi ailesini tanımladığı düşünülebilir. 2000 yılında alınan kurallar her ikisi içinde (her ne kadar relatif yönelimleri kendi aralarındaki dönüşümle tanımlanmış olsa bile) mutlak bir yönelim belirtmez. 2006'da duruma çare olsun diye, IAU ICRS'nin BCRS'nin yönelimini tanımlayabileceğini belirten bir kural ortaya koymuştur (IAU 2008). Böylece, ICRS ve BCRS birbiri ile yakından ilişkilendirildi ve iki terim sık sık yer değiştirerek de kullanıldı. İlişkiyi anlamamanın basit bir yolu BCRS koordinatlarının ICRS'nin özel eksenlerine göre ifade edildiği ve ICRS verisinin BCRS metriğini temel aldığı şeklindedir. Keza IAU, 2000 ve 2006'da ICRS kapsamında Arz'ın anlık yönelimini hesaplamak için yeni modeller benimsedi. Yeni modeller presesyonu, nütasyonu, gök kutbu için yeni bir tanımı, Arz'ın dönme açısını, Arz'ın anlık eksenini etrafındaki dönmesini ölçmek için ekvator düzleminde iki yeni referans noktayı belirleyen yeni çözüm yolları içerir. Bu modeller USNO Circular 179'da IERS 2000 yılı yönetmeliğinde (Petit & Luzum 2010) (Kaplan 2005) ve *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac* (Urban & Seidelmann 2012) baskısında ayrıntılı tanımlanmıştır. Bu modeller gök cisimlerin anlık koordinatları o andaki ekvator ve ekinoksa veya yerel ufuk tabanlı sisteme göre ifade edildiği zaman önemlidir.

Arz'ın yönelimi için IAU'ya tavsiye edilen algoritmalar Fortran ve C dilinde 'de yazılmış bütün modüller Standards of Fundamental Astronomy (SOFA) kütüphanesinde bulunmaktadır. Bu programlar IAU Division 1 'in gözetimi altındadır. U.S. Naval Observatory Vector Astrometry Software (NOVAS)'nın en son sürümü Fortran, C ve Python dillerinde mevcuttur.

Şüphesiz Arz'ın yeni yönelim modelleri sadece Arz yüzeyinden yapılan temel gözlemlerle ilgilidir. Uzay platformundan alınan astrometrik gözlemler veya doğası diferansiyel olanlar (referans cisimlere dayanan ve hepsi de küçük bir alan içinde olan) bu modellerden etkilenmezler. Bununla birlikte astrometrik gözlemlerin analizinde gözönüne alınması gereken diğer etkiler de vardır –örneğin, öz hareket, paralaks, aberasyon ve ışığın gravitasyon alanda bükülmesi gibi-. Bunlarla ilgili algoritmalar ESA (1997) Hiparkos Kataloğunun 1. ve 3. Bölümünde ya da the *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*'ın (Urban & Seidelmann 2012) 2012 baskısında bulunabilir. Uzaydan çok yüksek hassasiyetli gözlemlerin analizi için Klioner (2003) tarafından yapılan iyileştirmelere bakmak gerekir.

Son olarak, IAU'nun Kartografik Koordinatlar ve Rotasyon Elemanları çalışma grubu gezegenler, uydular ve asteroidlerin rotasyonları için IAU'nun tavsiyede bulunduğu modelleri Archinal ve ark. (2011) ICRS'ye göre modifiye etmişlerdir.

Sonunda, gezegenler, uydular ve asteroidlerin rotasyonu için IAU'nun tavsiye ettiği modeller kendisi tarafından derlenmiş ve ICRS'ye göre verilmiştir.

Diğer Sistemlerle İlişkisi

ICRS'nin eksenlerinin yönelimi FK5'le temsil edilen J2000.0 ekvator ve ekinoksuyla, FK5 hataları mertebesinde uyumludur. J2000.0 da, FK5'in hataları Hipparcos'un hatalarından önemli ölçüde daha fazla olduğundan, ICRS o epokta (veya yakınında) FK5 sisteminin bir düzeltmesi şeklinde kabul edebilir. ICRS keza konvansiyonel olarak tanımlanan J2000.0 dinamik ekvator ve ekinoksunu iyi bir yaklaşım olarak kabul edebilir (en azından FK5 kadar iyi) (Feissel & Mignard 1998). Gerçekte, ekvator, ICRS'nin tamamı için temel olan, VLBI gözlemlerinden gayet iyi tayin edilir. ICRS'nin kutbu dinamik kutupla 20 miliyaysaniye içinde uyumludur. Daha önce bahsedildiği gibi, rektasansyonun VLBI'dan türetilen sıfır noktası keyfidir, fakat geleneksel olarak 3C 273B kaynağının Ay tarafından örtülme zamanından elde edilen rektasansyona göre tahsis edilmiştir. Ay efemerisi böylece dinamik ekinoksa dolaylı bir bağlantı sağlar. Rektasansyonun ICRS'deki orjini daha önce IERS tarafından kullanılan bir grup VLBI kalatoğu ile uyumlu olacak ve hizalanacak şekilde yapıldı. ICRS'nin rektasansyon orjini ve dinamik ekinoks arasındaki fark ekinoksun farklı tanımlarını kullanan iki grup tarafından bağımsız ölçülmüş, fakat her iki durumda da farklar 0.1 yaysaniyesinden daha az bulunmuştur. Önceki referans sistemine uyumundan dolayı, ICRS'nin uygulamaya konması 0.1 yaysaniyesinden daha iyi olması beklenmeyen hassasiyet gereksinimlerinde her bir uygulamaya şeffaf olacaktır. Yani, bu hassasiyetteki uygulamalar için- örneğin teleskobu yönlendirmek için yeterince iyi- ICRS, FK5 ve J2000.0 dinamik ekvator ve ekinoks arasındaki farklılıklar önemli değildir. Yine de, yukarıda bahsedildiği gibi, yeni IAU Arz yönelme modellerinin (presesyon ve nütasyon) uygulanması, kaynak veri için hangi katalog ve efemerisin kullanıldığı gözönüne alınmaksızın o tarihteki ekvator ve ekinoksa göre gök cisimlerinin görünen konumlarını daha hassas ifade etmek için (ve sistematik hatalardan kaçınmak için) gereklidir. ICRS kabullerinin ve uygulamalarının kısa bir özeti için Feissel ve Mignard (1998) çalışmasına bakılabilir.

ICRD'deki Veriler

Her ne kadar ICRF2 ve HCRF şu anda temel radyo ve optik bölgede gerçeklemeyi sağlıyorsa da, ICRS zamanla daha sönük kadirlerle ve diğer dalgaboylarına doğru genişletilmiştir. Böylece, daha fazla miktarda temel astronomik veri yeni sisteme ilave edilmiştir.

Yukarıda tanımlandığı gibi, ICRF2, belirlenen kaynakların ondabirinden daha az, 3414 ekstra galaktik radyo kaynağının kabul edilen konumlarından ibarettir. Gözlemsel verinin tamamı ortak bir katalog çözümünün bir parçası olduğundan her bir kaynağın benimsenen koordinatları ICRS’de de vardır. Tanımlanmayan kaynakların konumlarındaki belirsizlikler tanımlananlardan daha büyük olma eğilimindedirler. Tanımlanmayan kaynakların çoğu VLBA Kalibratör Araştırmasının bir parçasıdır (aşağıda tanımlanmıştır) ve çok sınırlı bir gözlemsel veri tabanı vardır. Bunlarda 1966 tanesi sadece bir kez gözlenmiştir. Böyle olunca da bunların uzun dönemli kararlılığından söz edilemez.

VLBA Kalibratör Araştırması, VLBA (Very Long Baseline Array) ve VLA (Very Large Array) için kalibratör olarak kullanılan ve ICRS’de konumları olan radyo kaynakları listesidir. VCS kaynaklarının bazıları ICRF2’nin bir kısmını kapsar. Konu ile ilgili Gordon ve ark. (2016) bakılmalıdır. ICRS keza S ve X bantlarından daha yüksek radyo frekanslarında da (8, 24, 32 ve 43 GHz) belirlenmiştir. Konu ile ilgili Jacobs ve ark. (2005), Jacobs ve ark. (2008), and Lanyi ve ark. (2010)’nın çalışmalarına bakılabilir.

Optik dalgaboylarında, Tycho-2 kataloğu (Hog ve ark. 2000) daha önceki 144 yer tabanlı yıldız kataloglarındaki verileri, Hipparcos “yıldız haritalayıcısı” aletinden gelen gözlemlerin tekrar analiz edilip birleştirilmesi sonucunda oluşturulmuştur. Astrografik Kataloğu (AC) da içeren yer tabanlı kataloglar 20. yüzyılın başında 20 gözlemevinin katılımı ile oluşturulan çok büyük içerikli astrografik kataloglardır. Tycho-2 yaklaşık 2,5 milyon yıldız ihtiva eder. Yakın zamanda Tycho konum ölçümlerinin hassasiyeti, yaklaşık 100 yıllık bir zaman zarfından elde edilen öz hareket bilgileriyle birleştirilerek, artırılmıştır. Öz hareketlerdeki belirsizlik yılda 1-3 miliyaysaniyesi mertebesindedir. Dokuzuncu kadirde daha parlak yıldızların J2000.0 epok için Tycho kataloğundaki konumlarındaki belirsizlik genelde 20 miliyaysaniyesi mertebesindedir. Bununla birlikte konum hassasiyeti 9. kadirde daha sönük yıldızlara gidildiğinde hızla bozulur, şöyle ki, 12. kadirde bir yıldız için aynı katalogta J2000.0 için konumdaki hata 100 milisaniye mertebesine kadar çıkar.

Keza optik bantta, U.S. Naval Gözlemevi CCD Astrograf Katalog’u (UCAC) kırmızıda 16. kadire kadar sönük gökyüzünün tamamında 113 milyon yıldız için ICRS ile uyumlu konum ve özhareket sağlar. UCAC kataloğunun üçüncü serisiyle ilgili bilgi için Zacharias’ın (2010) çalışmasına bakılabilir. Yıldız konum hassasiyeti mevcut epoktaki ortak yıldızlar için Hipparcos ve Tycho-2 hassasiyetine benzer. UCAC4, Gaia öncesi serbest bırakılmış ve 2012 ‘de dağıtılmıştır (Zacharias 2013). UCAC5, Gaia’nın referans yıldızları tekrar analiz etmesi ve özhareketleri iyileştirmesinden sonra 2017’de serbest bırakılmıştır (Zacharias, 2017).

Büyük Kuazar Referans Çerçeve (The Large Quasar Reference Frame (LQRF)) (Andrei ve ark. 2009) zayıf optik parlaklıklarda ICRS’nin bir diğer gösterimidir. LQRF, yaklaşık 100 milisaniye hassaslıkta bütün gökyüzüne gayet iyi dağılmış 165 kuazarın 100 ‘ünün koordinatını içerir.

ICRS, İki Mikron Bütün Gökyüzü Araştırması (Two Micron All Sky Survey (2MASS)) tarafından yakın kırmızı ötesine kadar genişletilmiştir (Cutri ve ark. 2003, Zacharias ve ark. 2005). Bu yer tabanlı program J, H ve K_s kızıl ötesi bantlarında 471 milyon, çoğu yıldız olan, nokta kaynağın konumlarını sağlamıştır. 2MASS kataloğu öz hareketleri içermeyen tek bir epok için hazırlanmıştır. Konumlar, 4 yılı kapsayan gözlemler sonucu, J2000.0 için listelenmiştir. J2000.0’da astrometrik hassasiyet 9-14 kadir aralığında K_s ‘de 80 miliyaysaniye civarında olmakla beraber daha parlak ve daha sönük kadirlerle gidildiğinde hatalar daha da artmaktadır.

Modern (2000 sonrası) bütün yüksek hassasiyetli gezegenler ve Ay efemerisleri ICRS'ye ayarlanmış üç enstitü tarafından üretilmiştir:

- ABD'de NASA'ya ait Jet Propulsion Laboratuvarından JPL efemerisi (DE serileri),
- Rusya'daki Uygulamalı Astronomi Enstitüsünden EPM efemerisleri,
- Fransa'daki Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides'den INPOP efemerisleri.

ICRS'deki Veriler

Bunun anlamı pratikte, bu efemerislerden her hangi biriyle özel bir zaman ve yer için gezegenler ve Ay'ın görünen koordinatları hesaplandığında aynı yer ve zaman için hesaplanan yıldızların görünen koordinatlarıyla karşılaştırılabilecektir. JPL, IAA ve IMCCE efemerislerinin karşılaştırılması ve tekrar gözden geçirilmesi Journees 2010 konferans kitapçığının Session 2 deki makalelere bakılmalı (Capitain 2011).

Astronomical Almanac'taki tablolar ICRS'ye uyumlu veri kaynaklarını temel alır. Bunlar JPL DE430/LE430 gezegenler ve Ay için hazırlanan efemerisleri de içerir (2015'den önce DE405/LE405 kullanılmaktaydı). Almanac IAU'nun tavsiye ettiği Arz'ın yönelim algoritmaları kullanarak hazırlanır.

IAU Kararların Yetki Sınırı

ICRS'nin kurulumu ve uygulamaya konması IAU tarafından desteklenmiş ve yetkilendirilmiştir. B2 yasa tasarısı Ağustos 1997'deki IAU'nun 23. Genel Toplantısında geçmiştir.

- 1 Ocak 1998'den itibaren, IAU göksel referans sistemi Uluslararası Göksel Referans Sistemi (ICRS) olacak şekilde değişmiştir. Bu karar 1991 IAU yasa tasarısında referans çerçeve olarak belirlenmiş ve tanımı Uluslararası Arz Rotasyon Servisi (IERS) yapılmıştır.
- Karşılık gelen temel referans çerçeve, Uluslararası Göksel Referans Çerçeve (ICRF), IAU'nun Referans Çerçeveler Çalışma Grubu tarafından kurulmuştur.
- Hipparcos kataloğu ICRS'yi optik dalga boylarında ana gerçekleyicisi olmuştur.
- IERS, IAU'nun Referans Çerçeveler Çalışma Grubuyla beraber ICRS'yi sağlamak ve diğer dalga boylarında referans çerçeveye bağlamak için uygun ölçümleri üstlendi

Yukarıda atıfta bulunulan "1991'de IAU referans çerçevelerle ilgili resmi kararlar" 21. IAU Genel Toplantısında (IAU 1992) A4 kararları olarak geçmiştir. Bu kararlarda Güneş Sistemi kütleler merkezinde orjinlenmiş uzay koordinat gridleri ve Arz'ın kütleler merkezi uzak ekstra galaktik cisimler setine göre bütünsel olarak bir dönme göstermediği ve yeni konvansiyonel referans sistemin temel düzleminin J2000.0 ortalama ekvatoruna mümkün olduğu kadar yakın ve bu temel düzlemdeki orjin de J2000.0 dinamik ekinoksuna mümkün olduğu kadar yakın olması tavsiye edilmiştir.

Keza bir IAU çalışma grubu tarafından "yeni konvansiyonel referans çerçeveyi tanımlayan ana kaynaklar için adaylar" olabilecek bir ekstra galaktik radyo kaynaklar listesi kurulması tavsiye edilmiştir. Böylece, 1997'de kurulan ICRS, 1991'de IAU tarafından tanımlanan şartnameyi temel almıştır.

Müteakip 2000 IAU Genel Toplantısında, B1.2 kararları (IAU 2001) ICRS'nin optik bölgesinin bir kısmını gözönüne alan Hipparcos yıldız sayıları ile sınırlandırılmıştır.

Bu kararların konu ile ilgili kısmı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

- XXIII. IAU Genel Toplantısının (1997) B2 Kararları, Hipparcos kataloğundaki C, G, O, V ve X hariç tutularak, ICRS'de işaretlenmiş bütün yıldızların optikteki gerçekleşmesi değiştirilmiştir.
- Bu modifiye edilmiş Hipparcos çerçevesi Hipparcos Göksel Referans Çerçeve (HCRF) olarak etiketlenmiştir.

Etkin bir şekilde, bu değişiklik Hipparcos kataloğunda, hariç tutulanların iyi tayin edilmiş lineer öz hareketlerinden feragat edilerek, yıldızların yaklaşık %15'i ayıklanmıştır. Belirtilen işaretler H59 Hipparcos veri alanı için verilmiştir.

2000 Genel Toplantısındaki B1.3, B1.4, B1.5 kararlarında, Kütleler Merkezli Göksel Referans Sistem (BCRS), Geosentrik Göksel Referans Sistem (GCRS), onlar arasındaki dönüşüm ve her bir sistem için uygun zaman ölçekleri tanımlamaktadır. Aynı Genel Toplantıda B1.6, B1.7, B1.8 kararlarında IAU 2000A presesyon-nütasyon modeli, gök kutbu, Arz'ın dönme açısından itibaren ölçülen göksel ve Arz'sal ekvator üzerindeki noktalar ve Üniversal Zaman'ın (UT1) bir fonksiyonu olarak Arz rotasyonu için ifadeler tanımlanmıştır.

2006'daki IAU Genel Toplantısında, Kararlar 2'de (IAU 2008) Kütleler Merkezli Göksel Referans Sistem (BCRS) kelimeleriyle tanımı tamamlanmıştır.

Aksi söylenmediği sürece, bütün pratik uygulamalar için BCRS, ICRS eksenlerine göre yönelmiş olduğu varsayılmıştır.

Böylece temel göksel referans sistem gerçek olarak hem BCRS (rölativistik metrik) hem de ICRS (yönelim) tarafından tanımlanmıştır.

Bütün IAU kararların metni, kabul edilen Genel Toplantı yılında, IAU web sitesinde listenmiş şekilde bulunabilir. Burada bahsedilen kararların daha geniş bir açıklaması, keza pratik uygulama için onlarla ilgili formüller, UNSA Sirküler 179'da (Kaplan 2005) bulunabilir.

Referanslar

Andrei, A. H., Souchay, J., Zacharias, N., Smart, R. L., Vieira Martins, R., da Silva Neto, D. N., Camargo, J. I. B., Assafin, M., Barache, C., Bouquillon, S. Penna, J. L., & Taris, F. (2009): "The Large Quasar Reference Frame (LQRF). An Optical Representation of the ICRS", *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 505, pp. 385-404. [reprint]

Archinal, B. A., A'Hearn, M. F., Bowell, E., Conrad, A., Consolmagno, G. J., Courtin, R., Fukushima, T., Hestroffer, D., Hilton, J. L., Krasinsky, G. A., and Neumann, G., Oberst, J., Seidelmann, P. K., Stooke, P., Tholen, D. J., Thomas, P. C., & Williams, I. P. (2011): "Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2009", *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, Vol. 109, pp. 101-135. [reprint | erratum]

Capitaine, N., ed. (2011): *Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, Proceedings of the Journées 2010 (Paris: Observatoire de Paris). See esp. Session 2, pp. 33-91. [proceedings]

Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., Van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E. L., Kirkpatrick, J. D., Light, R. M., Marsh, K. A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W. A., Wheelock, S., & Zacharias, N. (2003): *2MASS All-Sky Catalog of Point Sources*, (Pasadena: IPAC/California Institute of Technology) [project info] [catalog data]

ESA (1997): *The Hipparcos and Tycho Catalogues*, European Space Agency pub. SP-1200 (17 volumes). [mission info] [catalog info] [catalog data]

ESA information on the Gaia mission. [ESA Gaia website] [selected technical reports] [Gaia data release 1]

Feissel, M., & Mignard, F. (1998): "The Adoption of ICRS on 1 January 1998: Meaning and Consequences", *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 331, pp. L33-L36. [reprint]

Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T., Bastian, U., Bien, R., Burkhardt, G., Du Mont, B., Hering, R., Jahrling, R., Jahreiss, H., Roser, S., Schwerdtfeger, H.-M., & Walter, H. G. (1988): *Fifth Fundamental Catalogue (FK5)*, Part I, The Basic Fundamental Stars. Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut, Heidelberg, No. 32. [reprint] [catalog data]

Gordon, D., Jacobs, C., Beasley, A., Peck, A., Gaume, R., Charlot, P., Fey, A., Ma, C., Titov, O., & Boboltz, D. (2016) "Second Epoch VLBA Calibrator Survey Observations: VCS-II", *Astronomical Journal*, Vol. 151, Issue 6, article id 154. [reprint]

Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P., & Wicenec, A. (2000): "The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars", *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 355, pp. L27-L30. [reprint] [erratum] [catalog info] [catalog data]

Hughes, J. A., Smith, C. A., & Kaplan, G. H., eds. (1991): *Reference Systems*, Proceedings of IAU Colloquium 127 (Washington: USNO). [reprint]

IAU (1992): *Proceedings of the Twenty-First General Assembly, Buenos Aires 1991*, ed. J. Bergeron, Transactions of the IAU, Vol. XXI-B (Dordrecht: Kluwer), pp. 30-78. [resolutions]

IAU (1996): *Proceedings of the Twenty-Second General Assembly, The Hague 1994*, ed. I. Appenzeller, Transactions of the IAU, Vol. XXII-B (Dordrecht: Kluwer), pp. 24-60. [resolutions]

IAU (1999): *Proceedings of the Twenty-Third General Assembly, Kyoto 1997*, ed. J. Andersen, Transactions of the IAU, Vol. XXIII-B (Dordrecht: Kluwer), pp. 31-51. [resolutions]

IAU (2001): *Proceedings of the Twenty-Fourth General Assembly, Manchester 2000*, ed. H. Rickman, Transactions of the IAU, Vol. XXIV-B (San Francisco: ASP), pp. 34-59. [resolutions]

IAU (2008): *Proceedings of the Twenty-Sixth General Assembly, Prague 2006*, ed. K. A. van der Hucht, Transactions of the IAU, Vol. XXVI-B (Cambridge: University Press), pp. 34-47. [resolutions]

IAU (2010): *Proceedings of the Twenty-Seventh General Assembly, Rio de Janeiro 2009*, ed. I. F. Corbett, Transactions of the IAU, Vol. XXVII-B (Cambridge: University Press), pp. 55-70. [resolutions]

<="" a="">Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (IMCCE) information on planetary and lunar ephemerides (INPOP series). [general info] [ephemeris export files]

<="" a="">Institute of Applied Astronomy (IAA) information on planetary and lunar ephemerides (EPM series). [general info] [ephemeris export files (ftp)]

Jet Propulsion Laboratory (JPL) information on planetary and lunar ephemerides (DE series). [general info] [ephemeris export files]

Kaplan, G. H., ed. (1982): *The IAU Resolutions on Astronomical Constants, Time Scales, and the Fundamental Reference Frame*, U.S. Naval Observatory Circular No. 163. [ordering info and download]

Kaplan, G. H. (2005): *The IAU Resolutions on Astronomical Reference Systems, Time Scales, and Earth Rotation Models: Explanation and Implementation*, U.S. Naval Observatory Circular No. 179. [ordering info and downloads]

Klioner, S. A. (2003): "A Practical Relativistic Model for Microarcsecond Astrometry in Space", *Astronomical Journal*, Vol. 125, pp. 1580-1597. [reprint]

Lieske, J. H., & Abalakin, V. K., eds. (1990): *Inertial Coordinate System on the Sky*, Proceedings of IAU Symposium 141 (Dordrecht: Kluwer).

Ma, C., & Feissel, M., eds. (1997): *Definition and Realization of the International Celestial Reference System by VLBI Astrometry of Extragalactic Objects*, IERS Technical Note No. 23, International Earth Rotation and Reference System Service (Paris: Observatoire de Paris). [tech note]

Ma, C., Arias, E. F., Eubanks, T. M., Fey, A. L., Gontier, A.-M., Jacobs, C. S., Sovers, O. J., Archinal, B. A., & Charlot, P. (1998): "The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry", *Astronomical Journal* Vol. 116, pp. 516-546. [reprint]

Ma, C., Arias, E. F., Bianco, G., Boboltz, D. A., Bolotin, S. L., Charlot, P., Engelhardt, G., Fey, A. L., Gaume, R. A., Gontier, A.-M., Heinkelmann, R., Jacobs, C. S., Kurdubov, S., Lambert, S. B., Malkin, Z. M., Nothnagel, A., Petrov, L., Skurikhina, E., Sokolova, J. R., Souchay, J., Sovers, O. J., Tesmer, V., Titov, O. A., Wang, G., Zharov, V. E., Barache, C., Boeckmann, S., Collioud, A., Gipson, J. M., Gordon, D., Lytvyn, S. O., MacMillan, D. S., & Ojha, R. (2009): *The Second Realization of the International Celestial Reference Frame by Very Long Baseline Interferometry*, IERS Technical Note No. 35, International Earth Rotation and Reference System Service (Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie). [tech note] [catalog]

Malkin, Z., Jacobs, C. S., Arias, F., Boboltz, D., Boehm, J., Bolotin, S., Bourda, G., Charlot, P., De Witt, A., Fey, A., Gaume, R., Heinkelmann, R., Lambert, S., Ma, C., Nothnagel, A., Seitz, M., Gordon, D., Skurikhina, E., Souchay, J., & Titov, O. (2014): "The ICRF-3: Status,

Plans, and Progress on the Next Generation International Celestial Reference Frame" in Proceedings of the Journées 2014 *Systemes de Reference Spatio-temporels*, held at Pulkova Observatory, St. Petersburg, Russia, 22-24 Sep 2014, ed. Z. Malkin & N. Capitaine, pp. 3-8. [reprint]

Mignard, F. (1997): "Astrometric Properties of the Hipparcos Catalogue", in *Proceedings of the ESA Symposium "Hipparcos—Venice '97"*, European Space Agency pub. SP-402, pp. 5-10. [reprint] [reprint of entire proceedings]

Petit, G. & Luzum, B., eds. (2010): *IERS Conventions (2010)*, IERS Technical Note No. 36, International Earth Rotation and Reference System Service (Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie). [tech note]

Urban, S. E. & Seidelmann, P. K., eds. (2012): *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac* (Mill Valley, CA: University Science Books). [description] [ordering info]

van Leeuwen, F., ed. (2007a): "Hipparcos, the New Reduction of the Raw Data", *Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 350. [ordering info] [reprint]

van Leeuwen, F. (2007b): "Validation of the New Hipparcos Reduction", *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 474, pp. 653-664. [reprint]

Zacharias, N., McCallon, H. L., Kopan, E., & Cutri, R. M. (2005): "Extending the ICRF into the Infrared: 2MASS-UCAC astrometry," in *The International Celestial Reference System: Maintenance and Future Realizations*, Proceedings of IAU General Assembly XXV, Joint Discussion 16, July 2003, ed. R. Gaume, D. D. McCarthy, & J. Souchay (Washington: USNO), pp. 52-59. [abstract] [reprint of entire proceedings]

Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Hendon, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G., & Zacharias, M. I. (2013): "The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)", *Astronomical Journal*, Vol. 145, Issue 2, article id 44. [reprint] [catalog]

Zacharias, N., Finch, C., & Frouard, J. (2017): "UCAC5: New Proper Motions Using *Gaia*DR1", *Astronomical Journal*, Vol. 153, Issue 4, article id 166. [reprint] [catalog]

Uyarlayan: Adnan Ökten