

Kalan faydalı ömür (RUL) tahmini: tek sayı değil, belirsizlik aralığı

Bu yazıda RUL tanımını, üç yaklaşımın veri gereksinimlerini ve bir eğilim hesabını görün. Sonunda bir tahmini P10, P50 ve P90 değerleriyle nasıl raporlayacağınızı bileceksiniz.

Kısaca

- RUL, bir sağlık göstergesinin arıza eşiğine ulaşmasına kadar geçen süredir ve tek bir sayı yerine aralıklarla raporlanmalıdır.
- Eğilim tabanlı tahminlerde hız belirsizse aralık genişler ve bu genişlik tahmin ufku büyüdükçe artar.
- Geç tahminler genellikle erken tahminlerden daha pahalıya mal olduğu için eşik ve hata asimetrisi açıkça yazılmalıdır.

01 / Kalan faydalı ömür nedir?

Kalan faydalı ömür (RUL), bir varlığın şu andan itibaren işini kabul edilebilir biçimde yapabileceği süredir. Pratikte bu süre çoğunlukla bir sağlık göstergesi (HI) ile tanımlanır. Gösterge bir titreşim genliği, bir sıcaklık farkı ya da birkaç sinyalden türetilmiş bir skor olabilir. Değeri bozulma yönünde zamanla ilerler ve bir arıza eşiğine ulaştığında varlık artık görevini yerine getiremez kabul edilir. Aynı varlık için birden fazla işlev varsa, her biri için ayrı bir eşik gerekebilir.

Bu tanım iki şey gerektirir. Birincisi, eşik açıkça yazılmalıdır: kabul edilen bir üst sınır mı, yoksa işlevin kayb olduğu nokta mı? İkincisi, RUL geleceğe ilişkin bir tahmindir ve gelecek belirsizdir. Bu nedenle tahmin, tek bir gün sayısı yerine bir olasılık dağılımı ile anlatılmalıdır.

02 / Üç yaklaşım, üç veri ihtiyacı

Yaygın üç yaklaşım vardır. Yaşam verisi yaklaşımı, Weibull gibi yaşa bağlı dağılımları benzer birimlerin arıza sürelerine uydurur. Bu yöntem bir makinenin o anki durumunu bilmez; popülasyonun genel davranışını verir. Tek bir makineye uyarlamak için yaş ve çalışma koşulu gibi ek bilgiler gerekir.

Bozulma eğilimi yaklaşımı, izlenen göstergeyi ileriye doğru ekstrapolasyonla uzatır. Gösterge net ve tutarlı bir artış gösteriyorsa işe yarar. Üçüncü yaklaşım benzerlik ve makine öğrenmesidir: benzer varlıkların arızaya kadar çalıştırılmış geçmiş kayıtlarıyla eğitilir ve yeni bir birimin örüntüsünü bu kayıtlarla eşleştirerek kalan ömrünü tahmin eder. Her yöntemin veri ihtiyacı farklıdır. İlki yaş kayıtlarına, ikincisi düzgün bir eğilime, üçüncüsü ise arızaya kadar izlenmiş geçmişe ihtiyaç duyar.

03 / Hipotetik bir eğilim hesabı

Örnek bir pompa (hipotetik) için sağlık göstergesi bugün 0,6'dır. Arıza eşiği 1,0 olarak tanımlanmıştır ve gösterge haftada 0,2 birim artmaktadır. Kalan süre, eşik ile mevcut değer arasındaki farkın artış hızına bölünmesiyle bulunur:

- Kalan süre = $(1,0 - 0,6) / 0,2 = 2$ hafta

Artış hızı kesin bilinmiyor ve haftada 0,15 ile 0,30 arasında olduğu varsayılıyor. Bu durumda en kısa tahmin, en hızlı artış hızıyla $0,4 / 0,30 = 1,33$ haftadır. En uzun tahmin ise en yavaş hızla $0,4 / 0,15 = 2,67$ haftadır. Hız arttıkça kalan süre kısaldığından, hızın üst sınırı en kısa, alt sınırı en uzun süreyi verir.

Bu hesap doğrusal bir artış varsayar. Gösterge hızlanarak bozuluyorsa gerçek kalan süre 2 haftadan kısadır; doğrusal hesap ise kalan süreyi olduğundan uzun gösterir. Bu nedenle eğilim uyumunun artıklarına bakılmalıdır.

04 / P10, P50 ve P90 nasıl okunur

Belirsizliğin kaynakları birkaçtır: hız tahminindeki hata, ölçüm gürültüsü ve gelecekteki çalışma koşullarındaki değişim. Bunlar bir araya geldiğinde RUL bir dağılım oluşturur ve raporlanan değerler bu dağılımın yüzdelik noktalarıdır. P10, sonuçların %10'unun altında kaldığı değerdir; yani erken uçtur. P50 medyandır: sonuçların yarısı bundan kısa, yarısı daha uzundur. P90 ise geç uçtur.

Bant, tahmin ufku uzadıkça genişler; küçük bir hız hatası uzun bir projeksiyonda büyür. Plan yaparken çoğu zaman medyandan çok erken uca bakmak gerekir. Bunun nedeni asimetridir: geç bir tahmin plansız durmaya yol açabilir, erken bir tahmin ise çoğunlukla parçanın olması gerekenden önce değiştirilmesi anlamına gelir. Bu maliyet farkı, eşik ve bakım kararı tanımlanmadan önce yazılmalıdır.

05 / Sınırlar ve başarısızlık biçimleri

Eşik, en sık hata kaynağıdır. Eşik bir istatistik sonucu değil, bir mühendislik kararıdır: varlığın işlevini kaybettiği noktayı tanımlar. Eşik yanlış seçilirse, mükemmel bir eğilim uyumu bile yanlış bir ömür üretir.

Rejim değişiklikleri de önemlidir. Yeni bir yük profili, farklı bir hammadde ya da çalışma modu değişimi bozulma hızını değiştirebilir. Bakım sonrası sıfırlama göstergesi aniden düşürür; sıfırlamadan önceki eğilim sonraki dönem için geçerli değildir. Geçmişte az arıza varsa dağılım zayıf kalır. Birkaç arıza kaydının ortalamasından çıkarılan bir sonuç, güvenilir bir popülasyon modeli sayılmaz. Son olarak, tahmin üretildikten sonra bakım ekibi bu tahminin hangi kararları değiştirdiğini kaydetmezse, yöntemin gerçek değeri ölçülemez.

06 / Tesisinizde nasıl başlanır

Önce tek bir varlık sınıfı ve operatörlerin anlamını bildiği tek bir sağlık göstergesi seçin. Arıza eşiklerini işlevin kaybı olarak yazın ve bunu bakım sorumlusu ile birlikte onaylayın. Ardından bakım geçmişini toplayın: arıza tarihleri, yapılan değişimler, yük ve hız bilgisi. Bu aşamada hangi arızaların kapsam dışı kalacağını da yazın; örneğin dış etkenlerden kaynaklanan kesintiler ayrı bir kategoride tutulmalıdır.

Model kurmadan önce göstergenin gerçekten eğilim gösterip göstermediğini kontrol edin. Arızaya kadar yatay seyrediyorsa, yöntemin ekstrapole edeceği bir sinyal yoktur. Tahminleri bir süre mevcut bakım süreciyle paralel çalıştırın; her tahmini, verdiği aralık ve olayın gerçekte ne zaman gerçekleştiğiyle birlikte kaydedin. Yöntemi yalnızca merkez değerle değil, erken uyarı davranışı ve yanlış alarmlarıyla değerlendirin.

Uygulayın

horizon içinde yerleşik örnek veriyle eşik kesişim zamanını ve P10, P50, P90 değerlerini not edin; ardından bir bakım kararında bu üç değerden hangisini esas alacağınızı gerekçesiyle yazın.

Kaynaklar ve çevrimiçi rehber

Güncel çevrimiçi rehberi açın

Prognostics (Wikipedia)

[Predictive maintenance \(Wikipedia\)](#)

[Weibull distribution \(Wikipedia\)](#)

[Reliability engineering \(Wikipedia\)](#)

[NASA Prognostics Center of Excellence: data set repository](#)

Önerilen pilot adımları saha doğruluk iddiası içermez. Sentetik örnekler gerçek tesis ölçümü değildir.