

Kalman filtresi ile gürültülü sensörden sağlık göstergesi

Tahmin ve düzeltme adımlarını, kazancın (K) ne anlama geldiğini ve seviye-eğim durumuyla düzgün bir sağlık göstergesi ile bozulma hızını nasıl elde edeceğinizi öğrenin.

Kısaca

- Kalman filtresi, gürültülü ölçümlerden gizli bir durumu özyinelemeli olarak tahmin eder ve her yeni ölçümde modeli ölçümle tartar.
- Kazanç $K = P / (P + R)$, tahmin belirsizliği ile ölçüm gürültüsü arasındaki oranı yansıtır; R büyüdükçe filtre ölçüme daha az güvenir.
- Durum olarak seviye ve eğim seçildiğinde filtre, düzgünleştirilmiş bir sağlık göstergesi ile bozulma hızını birlikte verir.

01 / Gürültülü ölçümden durum tahmini

Bir sensör, ilgilendiğimiz büyüklüğü doğrudan vermez. Bir titreşim ivmeölçeri, bozulmanın gerçek düzeyinin üstüne ölçüm gürültüsü ve kısa süreli sıçramalar ekler. Kalman filtresi, ölçülen değeri gizli bir durumun gürültülü bir yansıması olarak ele alır ve bu durumun tahminini her yeni ölçümle günceller. Ham sinyal hem gürültüyü hem bozulmayı taşır; filtrenin işi bu ikisini ayırmaktır ve bunu yaparken her adımda ne kadar güvenilir olduğunu hesaplar.

Her döngü iki adımdan oluşur. Tahmin adımında önceki durum ve belirsizliği bir model yardımıyla bir sonraki adıma taşınır. Düzeltme adımında ise gerçek ölçümle tahmin arasındaki fark, yani yenilik, tahmini ölçüme doğru çekmek için kullanılır. Bellekte yalnızca son durum ve onun belirsizliği tutulur; bu nedenle filtrenin bellek kullanımı geçmişin uzunluğuna göre büyümmez.

02 / Kazanç: modele mi, ölçüme mi güvenmek

Filtrenin kalbi kazanç K'dır. Tahmin belirsizliğini P, ölçüm gürültüsünün varyansını R ile gösterirsek, tek boyutlu durum için $K = P / (P + R)$ olur. Yenilik, K ile çarpılıp tahmine eklenir.

Bu oranın sezgisi açıktır. P küçükse, yani tahmin kesinse, K de küçüktür ve filtre modele yaslanır. R küçükse, yani sensör kesinse, K bire yaklaşır ve filtre ölçümü izler. Süreç gürültüsü Q, durumun iki adım arasında ne kadar değişebileceğini anlatır. Basit bir rastgele yürüyüş modelinde tahmin adımı P'ye Q ekler. Bu nedenle Q büyüdükçe P küçülmez ve K'nın çok düşmesi engellenir; Q ile R'nin oranı filtrenin izleme hızını belirler. Yenilikler küçük ve rastgele görünüyorsa model ölçümü iyi açıklıyor demektir; yenilikler sürekli aynı yönde büyüyorsa modelin yanlış olabileceğine işaret eder.

03 / Hesaplanmış küçük bir örnek

Örnek bir ölçüm (hipotetik): tahmin 10, tahminin varyansı $P = 4$, ölçüm $z = 12$ ve ölçüm gürültüsü varyansı $R = 4$.

- $K = P / (P + R) = 4 / (4 + 4) = 0,5$
- Yeni tahmin = $10 + 0,5 \times (12 - 10) = 11$
- Yeni varyans = $(1 - K) \times P = 0,5 \times 4 = 2$

Tahmin, tahmin ile ölçümün tam ortasına yerleşti ve belirsizlik yarıya indi. Aynı ölçüm için $R = 1$ olsaydı, $K = 4 / (4 + 1) = 0,8$ olurdu ve yeni tahmin $10 + 0,8 \times 2 = 11,6$ olurdu; filtre bu durumda ölçüme çok daha fazla güvenirdi. Bu sayılar yalnızca karşılaştırma içindir. Gerçek P ve R değerleri, kendi sensörünüzün ve modelinizin testlerinden çıkarılmalıdır.

04 / Seviye ve eğim: bozulma hızı için durum

Bozulma sinyalleri çoğunlukla bir eğilim taşır ve tek durumlu bir filtre bu eğilimin gerisinde kalır. Yerel doğrusal eğilim modeli, durum vektörüne hem seviyeyi hem eğimi koyar. Böylece filtre, düzgünleştirilmiş bir sağlık göstergesi ile bu göstergenin ne hızla değiştiğine dair bir tahmin üretir.

Eğim bileşeni, kalan faydalı ömür hesabının asıl girdisidir. Eşik kesişim zamanı; mevcut seviye, eşik ve eğimden hesaplanır. Eğimin belirsizliği ise durum kovaryans matrisinden gelir. Eğim belirsizse RUL aralığı da geniş çıkar. Veri henüz net bir eğilim göstermediğinde bu dürüst bir sonuçtur ve tek bir kesin tarih vermekten daha iyidir. Durum sayısı arttıkça matris işlemleri büyür; bu nedenle iki durumlu model, bir sensörün gönderdiği tek göstergesi izlemek için sade bir başlangıç noktasıdır.

05 / Sınırlar ve aykırı değerler

Standart Kalman filtresi doğrusal bir model ve Gauss gürültüsü varsayar. Gerçek bozulma çoğu zaman doğrusal değildir ve sensör gürültüsü ara sıra büyük sıçramalar içerir. Bu durumda filtre bir yaklaşım olarak okunmalı, belirsizlik aralığı da bu varsayımlara koşullu yorumlanmalıdır.

Aykırı değerler ayrı bir risk taşır. Gevşek bir konnektörden gelen tek bir hatalı okuma, tahmini uzak bir değere çekebilir. Bunun önlemi, standartlaştırılmış yeniliği izlemek ve olağandışı büyük yenilikleri filtreye almamaktır (kapılama). Düzensiz örnekleme ise ayrı bir sorundur: zaman adımı sabit değilse tahmin adımı gerçekte geçen süreyi kullanmalıdır; sabit aralık varsayımı yanlış bir eğilim üretir. Filtre çıktısını kesin bir ölçüm gibi değil, düzeltilmiş bir tahmin olarak okuyun.

06 / Tesisinizde nasıl başlanır

Önce sensörü makine durduğunda kaydedin. Bu kayıttaki gürültü, R için ilk tahmini verir. R değerini çalışan sinyalin grafiğine bakarak tahmin etmeyin; bu, ölçüm gürültüsünü gerçek titreşimle karıştırır.

Ardından Q değerini bilinen bir olay üzerinde deneyerek seçin: bakım sonrası bilinen bir seviye değişimi ya da belgelenmiş bir arıza iyi bir test olabilir. Filtre olaya geç tepki veriyorsa Q büyük ihtimalle küçüktür; her sıçramayı izliyorsa Q büyük ya da R küçüktür. Ham sinyali ve filtrelenmiş göstergesi geçmiş kayıtlar üzerinde yan yana çizin; gecikmeyi, sahte sapmaları ve aykırı değerlerin nasıl ele alındığını not edin. Operatörlerden de bilinen olaylarda gösterge değişimini doğrulamalarını isteyin; bu adım, filtrenin karar desteği olarak kullanılıp kullanılamayacağını belirler.

Uygulayın

horizon içinde yerleşik örnek veriyi açın, ham sağlık göstergesi ile Kalman ile düzleştirilmiş eğriyi karşılaştırın ve düzleştirmenin gecikme yarattığı zaman aralığını not edin.

Kaynaklar ve çevrimiçi rehber

Güncel çevrimiçi rehberi açın

Kalman filter (Wikipedia)

Exponential smoothing (Wikipedia)

Prognostics (Wikipedia)

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