

FFT spektrumu nasıl okunur: çözünürlük, pencere, tepe noktaları

Bir titreşim kaydından FFT spektrumu çıkarırken frekans çözünürlüğünü hesaplayın, pencere seçimini gerekçelendirin ve tepe noktalarını teşhis değil, ipucu olarak yorumlayın.

Kısaca

- Frekans çözünürlüğü $\Delta f = f_s / N$ formülüyle hesaplanır ve kayıt süresi uzadıkça belirgin biçimde iyileşir.
- Pencere fonksiyonu sızıntıyı azaltır ama tepeleri genişletir; bu yüzden seçim ölçümün amacına göre yapılmalıdır.
- Spektrumdaki tepeler makine davranışına dair ipuçlarıdır; teşhis için ek ölçüm ve çalışma koşulu bilgisi gerekir.

01 / Zaman alanı ve frekans alanı

Bir ivmeölçer ya da hız sensörü, zamanla değişen bir titreşim sinyali kaydeder. Bu kayıt zaman alanındadır: her örnek belirli bir andaki genliği gösterir. Oysa dişli, rulman ya da dengesizlik gibi kaynaklar genellikle belirli frekanslarda enerji üretir ve bu bilgi zaman grafiğinde kolayca gözden kaçırılır. Bu ayrım, bir kaydın hangi bilgiyi taşıdığını anlamak için temeldir.

Hızlı Fourier dönüşümü (FFT), N örneklik bir kaydı frekans alanına çevirir. Sonuç bir spektrumdur: her frekans çizgisinin genliğini gösterir. N örnekten yaklaşık $N/2$ kullanılabilir frekans çizgisi elde edilir. En yüksek geçerli frekans, örnekleme hızının yarısıdır ($f_s/2$). Bu sınırın üzerindeki bileşenler spektrumda yanlış bir frekansa katlanır; bu olguya aliasing denir.

02 / Çözünürlük: Δf nasıl belirlenir

Frekans çözünürlüğü, komşu iki frekans çizgisi arasındaki aralıktır. Değeri $\Delta f = f_s / N$ ile hesaplanır; burada f_s örnekleme hızı, N ise örnek sayısıdır. Kayıt süresi $T = N / f_s$ olduğundan aynı sonuç $\Delta f = 1 / T$ biçiminde de yazılabilir. Demek ki çözünürlük, kayıt süresiyle ters orantılıdır.

Bunun pratik sonucu şudur: N sabitken örnekleme hızını artırırsanız Δf büyür ve spektrum kabalaşır. Çözünürlüğü iyileştirmenin yolu daha uzun bir kayıt almaktır. Örnekleme hızını düşürmek de Δf değerini küçültür, ama $f_s/2$ sınırını da aşağı çeker; bu nedenle analiz bandı ile örnekleme hızı birlikte seçilmelidir.

03 / Pencere fonksiyonu ve spektral sızıntı

Bir FFT, kaydı sanki sonsuz kez tekrarlanan bir sinyalmiş gibi işler. Kayıt tam sayıda periyot içermiyorsa kaydın başı ile sonu arasında bir süreksizlik oluşur. Bu süreksizlik enerjiyi komşu frekanslara yayar; buna spektral sızıntı denir. Pencere fonksiyonu, kaydın kenarlarını kademeli olarak sıfıra yaklaştırarak bu etkiyi azaltır.

Hann penceresi genel titreşim taramalarında sık kullanılan bir başlangıç seçimidir. Sızıntıyı belirgin biçimde azaltır, ama tepeleri genişletir ve yakın iki bileşenin birbirinden ayrılmasını zorlaştırabilir. Dikdörtgen

pencere, kaydın tam periyot içerdiği ya da kısa bir geçici olayı (darbe, kısa vuruş) incelediğiniz durumlarda uygundur. Welch yöntemi kaydı birbirine bindirilmiş kısa parçalara böler ve spektrumları ortalar. Bu, gürültülü spektrumda varyansı düşürür; ancak çözünürlük artık toplam kayıt yerine parça uzunluğuna göre belirlenir.

04 / Örnek: 1x tepesi nereye düşer

Örnek bir hesap (hipotetik). $f_s = 10\,240$ Hz ve $N = 8\,192$ örnek alındığını varsayın. $\Delta f = 10\,240 / 8\,192 = 1,25$ Hz olur. Kayıt süresi $T = 8\,192 / 10\,240 = 0,8$ s'dir ve $1 / 0,8 = 1,25$ Hz ile aynı sonucu verir.

Mil hızı 1 480 dev/dk ise 1x frekansı $1\,480 / 60 = 24,67$ Hz'dir. Bu frekansın çizgi numarası $(1\,480 / 60) / 1,25 = 19,73$ çıkar. Yani tepe, 19. çizgi (23,75 Hz) ile 20. çizgi (25,00 Hz) arasına düşer. Gerçek tepe bir çizgiye tam oturmadiğı için enerji iki çizgiye yayılır ve spektrumda küçük bir sızıntı görmek normaldir. Bu, sinyalin bozuk olduğı anlamına gelmez; frekans izgarasının doğal bir sonucudur. Bu yüzden tepe değerini okurken mil hızını kayıtle birlikte not edin ve iki komşu çizgiyi birlikte değerlendirin.

05 / Tepeleri yorumlarken sınırlar

Spektrumdaki en güçlü tepeler çoğı zaman mil hızının katlarıdır. 1x tepesi dengesizlikle, 2x tepesi hizalama sorunlarıyla birlikte görülebilir; ancak her iki tepe de başka nedenlerle oluşabilir. Harmonikler 3x, 4x gibi katlar olarak ortaya çıkar. Bir tepenin iki yanındaki yan bantlar (sidebands), periyodik bir modülasyona işaret edebilir. Bunların hepsi ipucudur, teşhis değildir. Aynı tepe gevşeklikten, rulman kusurundan, dişli probleminden ya da elektriksel bir kaynaktan da çıkabilir.

Kayıt zamanla değişiyorsa, örneğın makine kalkış sırasında hızlanıyorsa, tek bir FFT tepelerin hangi andan geldiğini göstermez. Bu durumda spektrogram, frekansın zamanla nasıl değiştiğini gösterir. Kayıt süresi kısa ve ortalama az yapılmışsa, sonuç gürültüye duyarlı olur ve küçük tepeler gürültüden ayrılamaz.

06 / Kendi verinizle nasıl başlanır

Her kaydın yanına ölçüm bilgilerini yazın: örnekleme hızı, örnek sayısı, pencere türü, mil hızı, ölçüm noktası ve yük koşulu. Bu bilgi olmadan bir tepenin 1x mü yoksa başka bir bileşen mi olduğunu sonradan doğrulayamazsınız.

Şu sırayı izleyin:

- Analiz bandını önce seçin, sonra f_s değerini bu banda göre belirleyin.
- Δf değerini hesaplayın ve beklenen iki tepenin ayrılıp ayrılmadığını kontrol edin.
- Aynı yük ve hızda birkaç kayıt alın, tepelerin tekrar edip etmediğine bakın.
- Sonuçları, makine iyi durumdayken alınmış eski bir kayıtle karşılaştırın.

Ham kaydı her zaman değiştirmeden saklayın; pencere, bant ya da ortalama seçimi değiştiğinde aynı veriden yeniden analiz yapabilmek için bu gerekir. Ölçüm düzeni, ilk aşamada çoğı zaman analiz yönteminin seçiminden daha çok sonucu belirler.

Uygulayın

Spectra'daki yerleşik sentetik sinyallerden birini açın, pencere seçeneğini değiştirerek tepenin genişliğinin ve yan sızıntısının nasıl değiştiğini karşılaştırın.

Kaynaklar ve çevrimiçi rehber

Güncel çevrimiçi rehberi açın

Fast Fourier transform (Wikipedia)

Window function (Wikipedia)

Spectral leakage (Wikipedia)

welch (SciPy)

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