

Daha İyi Stabilizasyon Oranı Daha Kötü Sonuç Verebilir

En Güçlü Başlık Değeri Kaybedebilir



Şekil 1: Köprü ayağının yanındaki kontrol teknesinde korkuluğun ötesinde dalgalı su, açık güverte kapağının altında makineler bulunuyor

Dalgalar ve teknedeki makineler aynı kamera desteğini sarsar; frekans içerikleri farklı olabilir.

Bir stabilizasyon sistemi bir hareketi 63 kat azaltırken başka bir hareketi %50 büyütür. Bu makaledeki hesap bunun nasıl olduğunu gösterir. Kamera pozisyoneri seçerken alınacak ders şudur: tek bir test frekansındaki güçlü sonuç, başka yerdeki zayıf bölgeyi gizleyebilir.

Kontrol teknesi sorunu somutlaştırır. Dalgalar gövdeyi sallarken makineler başka titreşimler ekler. İkisi de kamera desteğine ulaşır, ancak aynı hızda oluşmaları gerekmez. Yalnızca en büyük görünen hareketi ölçmek, son sonucu belirleyen frekansı kaçırabilir.

Platformu sabitlemek için kullanılan ekipman bile onu sarsabilir. NASA, uzay aracını döndüren tepki tekerleklerinin dengesizlik ve yatak gürültüsü üzerinden önemli nişan alma titreşimi kaynakları olabileceğini bildiriyor. Mühendislik dersi, çevre kadar dahili makineleri de bozucu hareket kaydına eklemektir. [NASA teknik açıklaması](#)

Karşılaştırmadan Önce Oranı Tanımlayın

Kararlı sinüzoidal testte D taban açısal hareketini, E sabit referansa göre kalan optik eksen hareketini gösterebilir; ikisi de test frekansında ölçülsün. Aynı eksen, birimi ve genlik tanımını kullanın.

Bastırma oranı $R = D / E$. Kalan kazanç $G = E / D = 1 / R$.

0,1 kalan kazanç, giriş hareketinin onda birinin kaldığı anlamına gelir. Kazancın 1 olması azalma olmadığını, 1'in üzerinde olması büyütme gösterir. Frekans cevabı fazı da içerir: çıkışın girişten ne kadar geride veya ileride olduğu. [MIT frekans cevabı notları](#)

Tepe ve kök ortalama kare (RMS) değerlerini ayırın. Saf sinüs dalgasında RMS, tepe genliğinin $\sqrt{2}$ 'ye bölümüdür. Bu ikisini karıştırmak, karşılaştırma başlamadan sahte üstünlük yaratır.

Bastırma oranı; belirli bir frekansa, genliğe ve tanımlı hareket yoluna aittir.

Tüm Cevap Eğrisini Okuyun

Geri bildirim hareketi sürekli ölçer ve düzeltme komutu verir. Yararlı frekans aralığı; aktüatöre, sensörlere, mekanik yapıya ve kontrolcü ayarlarına bağlıdır. Cevap eğrisi bozucu hareket hızlandıkça ne kadarının kaldığını gösterir. Tek bant genişliği sayısı eğrinin biçimini gösteremez.

Basit negatif geri bildirim çevriminde doğrudan çıkışa eklenen açısal bozucunun duyarlılığı $S = 1 / (1 + L)$ olur; L kontrolcü ve sistem cevabının birleşimidir. Büyük çevrim kazancı bu bozucuyu azaltabilir. Sensör gürültüsü farklı bir cevap üzerinden girer: $T = L / (1 + L)$. Düzeltme gücünü artırmanın gürültüye de etkisi vardır. [MIT geri bildirim performansı notları](#)

Tabandan kameraya ölçülen her cevaba otomatik olarak S demeyin. Taban dönüşü, uygulanan tork ve sensör gürültüsü farklı noktalardan girer. Mekanik ve kontrol sistemi içindeki yolları da farklıdır. Pozisyoner karşılaştırması için amaçlanan konfigürasyonda taban açısından optik eksen açısına ölçülmüş aktarımı isteyin.

Geçiş Bölgesi Dikkat Gerektirir

Düzeltme, dar bir banttaki hareketi güçlendirecek gecikme ve faz kaymasıyla gelebilir. Burada kullanılan kararlı doğrusal modellerde geçici hareket, zorlama bittikten sonra söner. Periyodik zorlama sırasında kalan hareket yine de girişten büyük olabilir.

Saf 10 ms gecikme, 10 Hz'de 36°; 1 Hz'de yalnızca 3,6° faz gecikmesi ekler: gecikme = 360 × frekans × süre. Bu hesap kararlılık payını belirlemez; çevrimin geri kalanı da önemlidir. [MIT frekans cevabı notları](#)

Cevabın faydalı yük ataleti, montaj rijitliği ve çalışma moduyla nasıl değiştiğini sorun. Tek faydalı yükte ölçülen eğri, o düzenek için kanıttır; pozisyonerin taşıyabildiği her yük için otomatik olarak geçerli değildir.

Cevabı Hareket Spektrumuyla Birleştirin

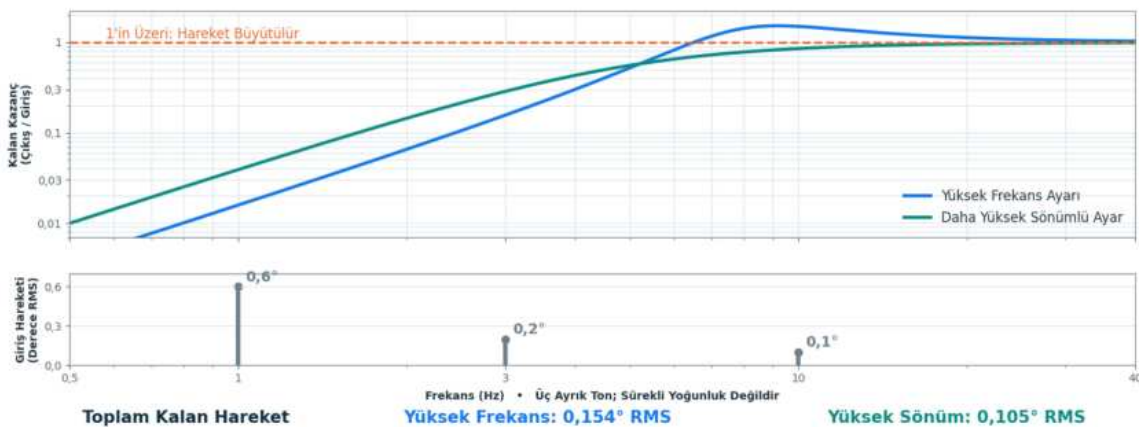
Sıfır ortalamalı ve kararlı istatistiklere sahip rastgele harekette güç spektral yoğunluğu (PSD), frekans başına ortalama kare hareketi tanımlar. Hz başına derece kare cinsinden tek taraflı açısal PSD'yi $G(f)^2$ ile çarpın ve belirtilen pozitif frekans bandında tümleştirin. Sonuç kalan ortalama kare harekettir; derece RMS için karekökünü alın. Bastırma oranlarının ortalamasını almayın. [MIT spektral analiz notları](#)

Birliğin üzerindeki tepeler dâhil etkin bant boyunca kalan kazancı ve fazı isteyin.

Tek Spektrum, İki Farklı Kazanan

1 Hz'deki Daha İyi Oran, Tüm Spektrumda Kaybedebilir

Hesaplanmış Karşılaştırma • Aynı Giriş Hareketi, İki Kararlı Cevap Modeli



Şekil 2: İki hesaplanmış kalan kazanç eğrisinin altında üç tonlu tek giriş spektrumu var; yüksek frekans ayarı 10 Hz girişini büyütüp daha fazla toplam hareket bırakıyor

Aynı üç giriş için hesaplanan cevap: 0,154° RMS ve 0,105° RMS. 10 Hz bileşeni sıralamayı tersine çevirir.

Tek ekseninde üç sinüzoidal taban hareketini ele alın: 1 Hz'de 0,6° RMS, 3 Hz'de 0,2° RMS ve 10 Hz'de 0,1° RMS. Bunlar hesap için varsayılan girdilerdir; ölçülmüş ürün performansı değildir. Ek gürültü veya doyum olmadan iki kararlı doğrusal modeli değerlendirin.

Model kazancı $G = r^2 / \sqrt{[(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2]}$ ve $r = f / f_0$ 'dır. Yüksek frekans ayarında $f_0 = 8$ Hz ve sönüm $\zeta = 0,35$; daha yüksek sönümlü ayarda $f_0 = 5$ Hz ve $\zeta = 0,90$ 'dır. Burada f_0 modelin frekans ölçeğini belirler; yayımlanmış ürün bant genişliği değildir.

Frekans	Yüksek Frekans Kazancı	Daha Yüksek Sönümlü Kazanç
1 Hz	0,0158	0,0390
3 Hz	0,1565	0,2868
10 Hz	1,5021	0,8536

1 Hz'de ilk model, 26:1'e karşı yaklaşık 63:1 bastırma sunar. Ancak 10 Hz yakınındaki büyütme sonucu değiştirir. Her giriş RMS değerini kazancıyla çarpın, üç sonucu kareye yükseltip toplayın ve karekökünü alın. Tam çevrimlerde farklı tonların çapraz terimleri sıfırdır.

Toplam kalan hareket, yüksek frekans ayarında **0,154° RMS**; daha yüksek sönümlü ayarda **0,105° RMS** olur. Başlıkta öne çıkarılan daha güçlü oran, yaklaşık %46 daha fazla hareket bırakır.

10 Hz girişi kaybolursa sıralama tersine döner: toplamalar 0,0327° ve 0,0619° RMS olur. Bozucu hareket spektrumundan bağımsız bir kazanan yoktur.

Bastırma oranlarının ortalamasını almak yerine cevabı, gerçekten oluşan hareketle ağırlıklandırın.

Eğriyi Yararlı Kanıta Dönüştürün



Şekil 3: Eğilen hareket tablasındaki optik kamera, laboratuvar zeminine bağımsız sabitlenmiş dama desenli hedefe bakıyor

Hareketli tabanı ve bağımsız referansın görüntüsünü ölçün; yakındaki hedefte lens ötelemesini hesaba katın.

İlgilenilen çalışma koşulunda amaçlanan montaj arayüzünden ölçülen açısal hareketle başlayın. Eksen, örnekleme hızı, filtreleme, makine durumu ve süreyi kaydedin. Sessiz dönemleri, farklı titreşim kaynakları içeren çalışma dönemlerinden ayırın. Rastgele hareket spektrumu tahmininde ortalama almak dalgalanmaları azaltır; kısa veri parçaları ise frekans çözünürlüğünü düşürür. Kontrolcünün zayıf bölgesiyle çıkışabilecek dar tepeleri koruyun. [MIT spektral analiz notları](#)

Hareket tablasında taban hareketi ile kalan optik hareketi birlikte ölçün. Sabit hedef bağımsız referans sağlar. Yakındaki hedef, lens ötelendiği için görüntüde de hareket edebilir. Optiği hedefi etkili biçimde sonsuz uzakta gösteren kolime edilmiş referans kullanın veya ölçüm geometrisini düzeltin. Gözlenen hareketi değiştiren görüntü işlemeyi kapatın ya da kaydedin.

Küçük Hareket Sonuçları Genlik Kontrolü Gerekir

Tepe açısı A olan sinüs hareketinin kusursuz giderilmesi için $2\pi fA$ tepe hızı gerekir. $A = 1^\circ$ ve $f = 5$ Hz olduğunda bu $31,4^\circ/s$; tepe ivmesi $987^\circ/s^2$ 'dir. Frekansı iki katına çıkarmak gerekli hızı iki, ivmeyi dört katına çıkarır. Bunlar kinematik gereksinimlerdir; pozisyoner anma değerleri değildir.

Testleri amaçlanan bozucu hareket genliğinde tekrarlayın. Hız veya tork sınırları küçük hareket eğrisini geçersiz kılabilir; integral etkili kontrolcü doyumdan sonra yavaş toparlanabilir. [MIT aktüatör sınırı notları](#)

Inventra S3 [PED12 ürün sayfası](#), jiroskopik stabilizasyonu ve yayımlanmış $0,04^\circ$ stabilizasyon doğruluğunu belirtir. Tek açı değeri, burada kullanılan frekans cevabı kanıtını sağlamaz. Önerilen konfigürasyon için cevabı, genliği, eksen ve faydalı yük koşullarını isteyin.

İlgili spektrum boyunca kabul edilebilir kalan harekete ve yeterli aktüatör payına sahip konfigürasyonu seçin. Ardından ortaya çıkan görüntüyü amaçlanan kamera ayarlarıyla kontrol edin. [Enstantane süresi dersi](#) ve [mekanik görüş hattı bütçesi](#) sonraki iki soruyu ele alır.

Çalışma spektrumuna göre seçin; aynı optik ölçümü amaçlanan faydalı yüklerle doğrulayın.

İlgili İçerikler: [Kararlı Görüntü Neden Daha Bulanık Olabilir?](#) · [Enkoder Doğruluğu Gösteriyor. Optik Sistem Hareket Etti.](#)

Kaynaklar ve İleri Okuma

- [Gerçekte Ne Kadar Stabilizasyona İhtiyacınız Var?](#)
- [Geri Bildirim Sistemlerinin Performansı, Bölüm 18](#)
- [Frekans Cevabı Yöntemleri, Konu 3](#)
- [Periyodogram, Ders 18](#)
- [İntegral Yığılma Önleme, Konu 23](#)
- [Büyük Uzay Teleskoplarında Nişan Alma Kararlılığı İçin Olası Mikro İtki Çözümü](#)
- [PED12 - Stabilize Elektromekanik Pan-Tilt](#)

© 2026 Inventra Inc. Atıf yapılan kaynakların hakları saklıdır.