

Kontrollü Anahtarlama Konseptinde Kesici Operasyon Süresine Adaptivitenin Farklı Parametreler Bazında İncelenmesi

Canberk Çuhadar
Genel Müdür
Sentinel Enerji ve Kontrol Teknolojileri

Bildiri ID Numarası: 0168



Neden Kontrollü Anahtarlama?

Problem

- Kontrolsüz anahtarlama işlemleri
- Zararlı elektriksel geçici rejimler
- Ekipman ömrünü kısaltma
- Şebeke kalitesini düşürme
- Termal ve dielektrik stres

Çözüm

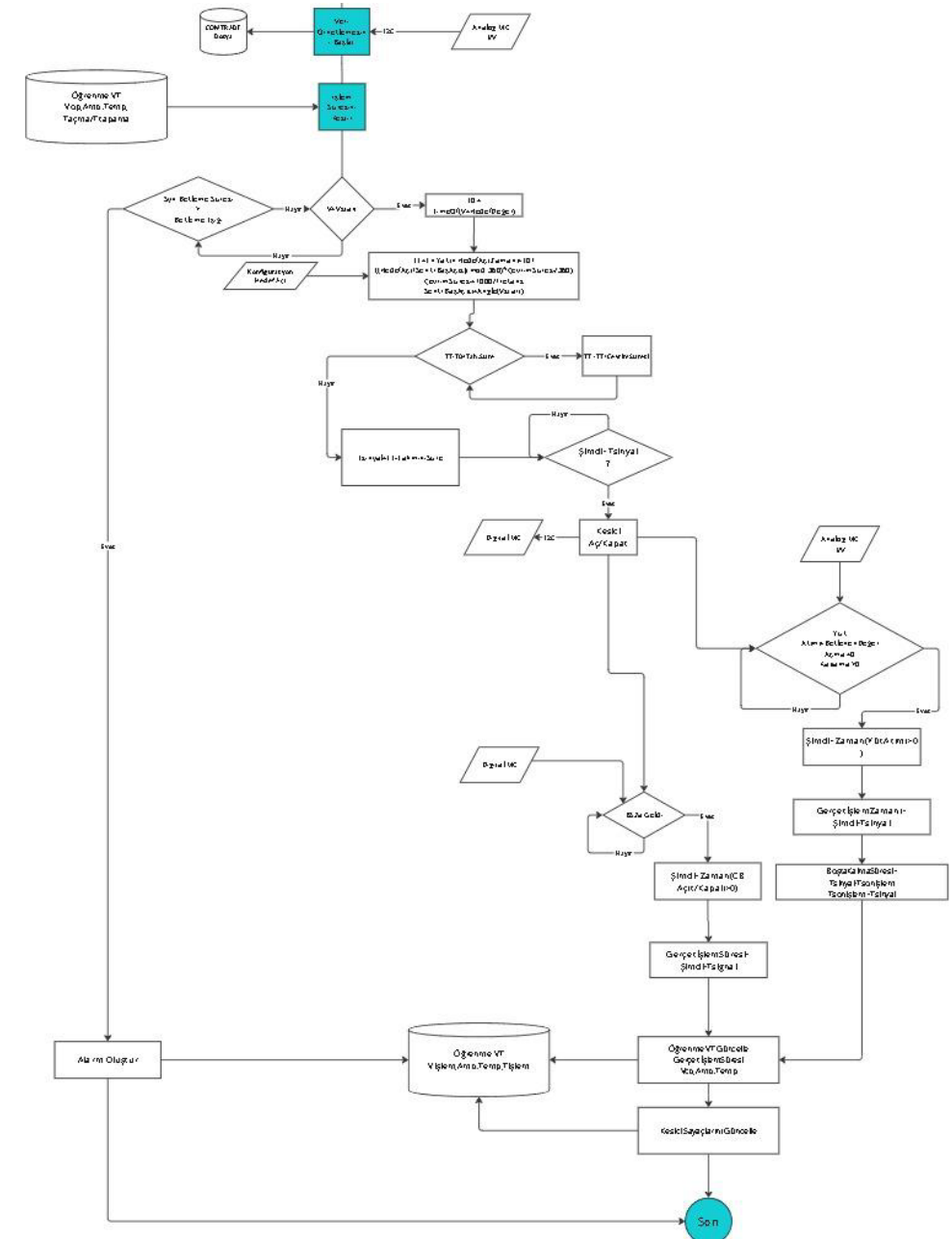
- Kontrollü Anahtarlama (Point-on-Wave Wave Switching)
- CIGRE tarafından kanıtlanmış yöntem
- Teknik ve ekonomik açıdan etkin
- Geçici rejimleri minimize eder
- Varlık ömrünü uzatır



HŃǼNÒÎ ÓÑØMǾŘÖÖ Ĩ ŽǾŃǼİ È £? İ £?Ī
GĜ? ? I G?Ī

Mekanik yıpranma Mandal, yay, biyel	Sürtünme ve aşınma	Ortam koşulları Sıcaklık, nem
Bobin gerilimi	Çok karmaşık bir sembol	Kontrol devresi değişimleri

 **Sonuç:** Zamanlama hataları → Kontrollü anahtarlamanın faydaları ortadan kalkabilir





Adaptif Anahtarlama Kontrol Cihazı Cihazı (A-AKC)

Özellikler

- Kesici operasyon süresine adaptif olarak uyum sağlar
- Her operasyonda öğrenir ve kendini günceller
- Gerçek zamanlı tahmin iyileştirme

Çalışmanın Amacı

- Farklı parametrelerin tahmin hatasına etkisini incelemek
- Adaptif öğrenme performansını analiz etmek
- Optimum parametre ağırlıklarını belirlemek

Özellikler

- Yerli ve milli imkanlarla geliştirildi
- Vangölü EDAŞ & Gediz EDAŞ işbirliği
- Hedef maliyet: <1k USD (Rakip ürünler: 15-20k USD)



Operasyon Süresi Tahmininde Kullanılan Parametreler

Geçmiş Operasyon Süreleri

1

- Uzun vadeli mekanik aşınmayı temsil eder
- Son operasyonların ortalaması
- Yavaş kaymaları yakalar

Son Operasyon Süresi

2

- Ani/kısa vadeli değişiklikleri yakalar
- Örnek: bir önceki operasyondaki takılma
- Hızlı adaptasyon sağlar

İ Üretici tarafından belirtilen süre

3

- Üretici tarafından belirtilen süre
- Başlangıç referansı
- Temel değer: 45 ms (testlerde)

Bobin Gerilimi

4

- Mekanizma hareket kuvvetini etkiler
- Regresyon modeli ile ilişkilendirilir
- Not: Laboratuvar testlerinde sabit tutuldu

Adaptif Regresyon Modeli

Ana denklemi:

$$TOS = w_0P_0 + w_1 P_1 + w_2 P_2 + \dots + w_n P_n$$

Burada:

- TOS: Tahmini Operasyon Süresi
- w_i : Adaptif ağırlık katsayıları (öğrenilir)
- P_i : Normalleştirilmiş girdi parametreleri

Neden Lineer Regresyon:

- Hesaplama basitliği
- Düşük işlem yükü
- Gerçek zamanlı çalışabilme
- Gömülü sistemlerde verimli

Z-Skor Filtresi denklemi:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

- Gürültülü/hatalı verileri filtreler
- Sadece güvenilir veriler kullanılır



Kapalı Çevrim Adaptif Güncelleme

1

İ E Ğ İ İ

- Mevcut parametreler ve ağırlıklarla
- Operasyon süresi hesaplanır
- $TOS = w_0P_0 + w_1P_1 + w_2P_2 + \dots$

2

UYGULAMA

- Hesaplanan gecikme ile komut gönderilir
- Hedef dalga üzeri noktada anahtarlama
- Gerilim sıfır geçişi/tepe noktası referans

3

İ İ T U İ

- Gerçek operasyon süresi ölçülür
- Akım sinyali izlenir
- Açma: akım = 0, Kapama: akım $\neq$ 0

4

GÜNCELLEME

- Tahmin hatası = Gerçek - Tahmin
- Ağırlıklar güncellenir
- Tüm veriler veri tabanına kaydedilir

IMNÖÖVPPQVÖİÑCEPİÖCEPÑÖÖ

Test Düzeneği Bileşenleri:

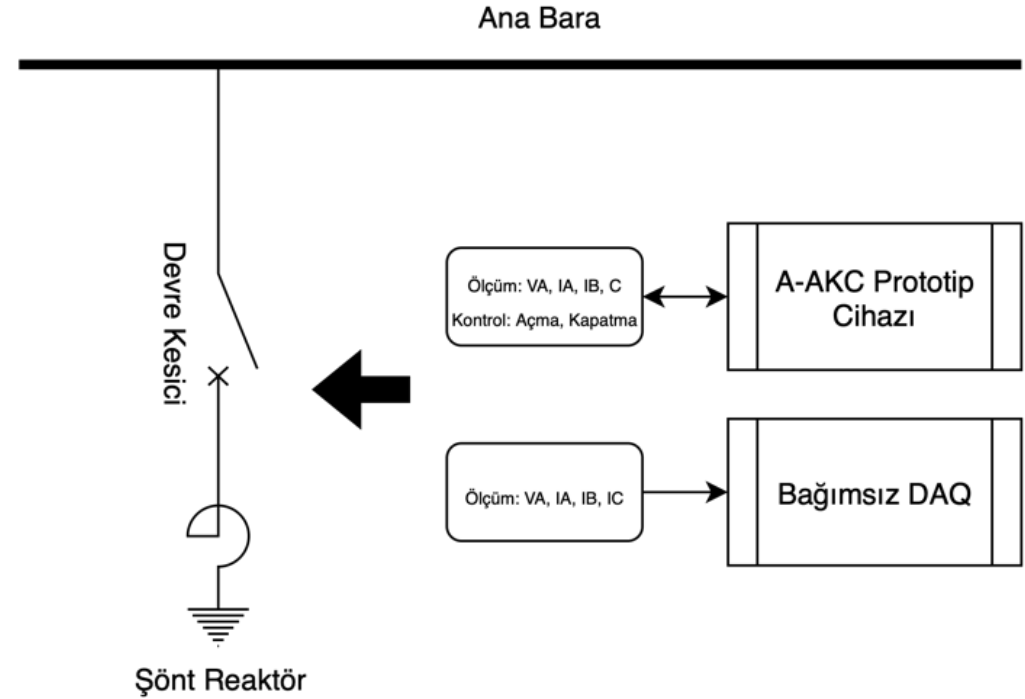
- A-AKC Prototip Cihazı
- Temsili Kesici (Kontaktör - vakum/SF6 tipi)
- Güç Kaynağı (şebeke simülasyonu)
- Yüksek Hızlı DAQ Sistemi (bağımsız doğrulama)

Teknik Parametreler:

- 3 Faz, 400V, TN (Yn) topoloji
- Nominal Kesici Kapatma Süresi: 45 ms
- IPO ve GANG seçilebilir emülatör
- ADE9000-EVAL-SHIELD donanımı kullanıldı

Test Prosedürü:

- Her parametre değişimi sonrası 7 operasyon
- Kontrol algoritması her testte resetlendi
- Tüm koşullar sabit tutuldu



3 Farklı Test Grubu

Test	Parametreler	w_Nom	w_Op	w_Son	Amaç
Test 1	Adaptasyon Yok	1.0	0	0	Baseline
Test 2	Kismi Adaptasyon	0.5	0.5	0	Geçmiş öğrenme
Test 3	Artırılmış Adaptasyon	0.4	0.4	0.2	Tam adaptif

01	02	03
Test 1: Sadece nominal süre	Test 2: Geçmiş operasyonlar eklendi	Test 3: Son operasyon da eklendi
Adaptivite devre dışı - Referans performans	Son 10 operasyonun ortalaması - Yavaş adaptasyon	Hem geçmiş hem son veri - Hızlı ve agresif adaptasyon

Her test: 7 ardışık operasyon, aynı koşullar

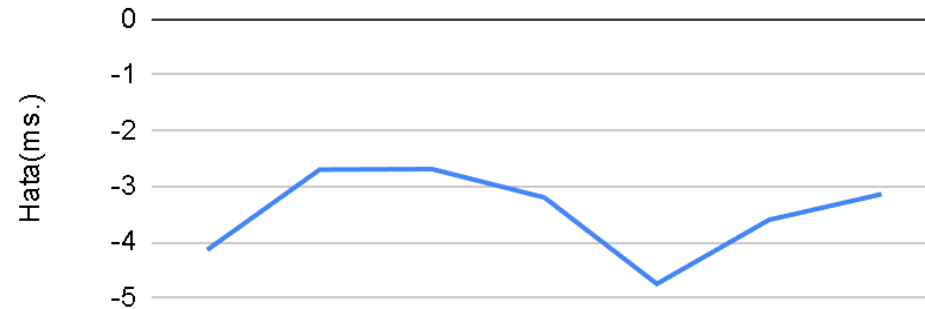
Test 1: Baseline (Sadece Nominal Süre)

Parametre Ağırlıkları: $w_{\text{Nom}}=1.0$, $w_{\text{Op}}=0$, $w_{\text{Son}}=0$

Op#	Tahmin (ms)	Gerçek (ms)	Hata (ms)
1	45.00	49.14	-4.14
2	45.00	47.70	-2.70
3	45.00	47.69	-2.69
4	45.00	48.20	-3.20
5	45.00	49.75	-4.75
6	45.00	48.60	-3.60
7	45.00	48.14	-3.14

Ana Gözlemler:

- ✗ Tahmin Hiç değişmiyor
- ✗ Hata: -2.69 ms ile -4.75 ms arası
- ✗ Öğrenme yok
- ✗ Kesici değişkenliğine uyum sağlanamıyor



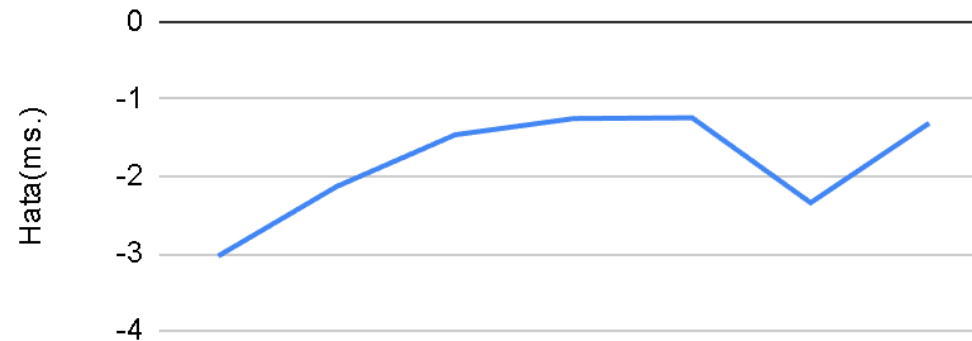
Test 2: Geçmiş Operasyonlar Eklendi

Parametre Ağırlıkları: $w_{Nom}=0.5$, $w_{Op}=0.5$, $w_{Son}=0$

Op#	Tahmin (ms)	Gerçek (ms)	Hata (ms)
1	45.93	48.97	-3.03
2	46.84	48.98	-2.13
3	46.76	48.22	-1.46
4	46.73	47.98	-1.25
5	46.71	47.96	-1.24
6	46.61	48.95	-2.34
7	46.71	48.02	-1.31

Ana Gözlemler:

- ✓ Tahmin artıyor (öğrenme var)
- ✓ Hata azalma eğiliminde
- ✓ -3.03 ms → -1.24 ms iyileşme
- ⚠ Hala yeterli değil



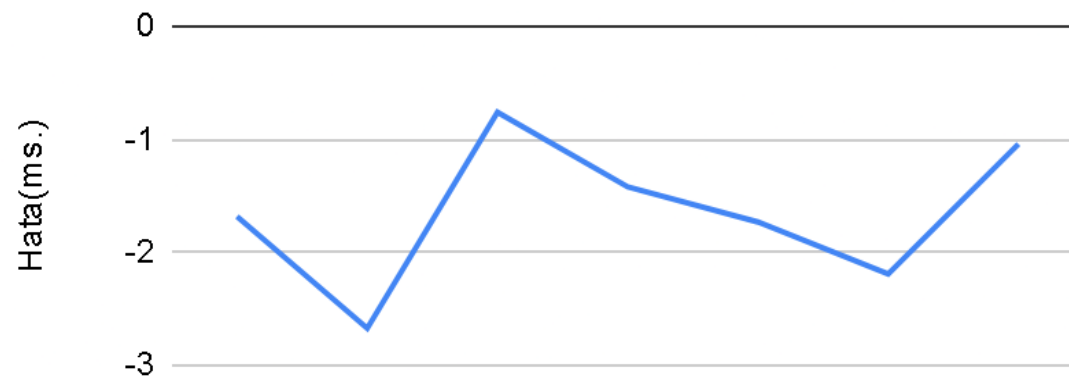
[illegible]

Parametre Ağırlıkları: $w_{Nom}=0.4$, $w_{Op}=0.4$, $w_{Son}=0.2$

Op#	Tahmin (ms)	Gerçek (ms)	Hata (ms)
1	46.96	48.65	-1.68
2	47.08	49.75	-2.67
3 ☆	47.54	48.21	-0.76
4	47.08	48.50	-1.42
5	47.18	48.91	-1.73
6	47.30	49.49	-2.19
7 ☆	47.49	48.53	-1.04

Ana Gözlemler:

-   En iyi performans!
-   En düşük hata: 0.76 ms
-   Dar hata bandı
-   Hızlı toparlanma (Op 2→3)



ÖZET RAPOR

İşletim Sistemi Performans Analizi

Metrik	Test 1	Test 2	Test 3
Ortalama Hata	-3.46 ms	-1.82 ms	-1.50 ms
En Düşük Hata	-2.69 ms	-1.24 ms	-0.76 ms
En Yüksek Hata	-4.75 ms	-3.03 ms	-2.67 ms
Hata Aralığı	2.06 ms	1.79 ms	1.91 ms
Öğrenme	✗ Yok	⚠ Yavaş	✓ Hızlı

Ana Bulgular:

- Adaptasyon, tahmin doğruluğunu %56 iyileştirdi
- Geçmiş veriler uzun vadeli trendi yakalar
- Son operasyon ani değişimlere hızlı tepki verir
- Dengeli ağırlıklandırma optimal performans sağlar

Sonuçlar ve Öneriler

ÖNERİLER

- ✓ Adaptif yaklaşım, statik kontrolcülerini geride bıraktı
- ✓ Milisaniye altı doğruluk sağlandı
- ✓ Manuel kalibrasyon gereksinimi ortadan kalktı
- ✓ Uzun vadeli güvenilirlik kanıtlandı

Pratik Faydalar:

- ✓ Ekipman ömrü uzatma
- ✓ Bakım maliyetlerinde azalma
- ✓ Şebeke kalitesinde iyileşme
- ✓ Kesici "sağlık parmak izi" oluşturma

Gelecek Çalışmalar:

- 🔧 Parametre setinin genişletilmesi
 - 🔧 Optimum ağırlıkların otomatik belirlenmesi
 - 🔧 Farklı kesici tiplerinde test
 - 🔧 Saha uygulaması ve uzun dönem analizi
-