



Tezgâh testleri: OLED, mikrofon, ToF 4×4, kapanma onayı

Axion Robot *CircuitPal V2*

Özet—Bu belge CircuitPal V2 eğitim robotunun teknik sözleşmelerinden birini IEEE dergi biçiminde sunar. İçerik depodaki Markdown kaynağından üretilmiştir; kaynak ile bu çıktı arasında bir fark görülürse depo kazanır.

Index Terms—CircuitPal, ESP32-S3, eğitim robotu, gömülü yazılım, Axion Robot

Uygulama: firmware/apps/cpal_bringup (T0 donanım test paketi, K9, ürün imajı değildir). Tarih: 3 Eylül 2026 (akşam koşumuyla güncellendi). **Gerçek kart üzerinde koşuldu** (CPAL2DCF361, o gün 192.168.1.139; kartın GÜNCEL adresi **192.168.1.49**, ölçüm kayıtlarındaki eski adres tarihsel olduğu için değiştirilmedi). Doğrulan ve hâlâ açık kalan kısımlar §6'da ayrı ayrı yazılıdır. Çelişki hâlinde docs/agents/STATE.md kazanır; bu belge onun ölçüm ayrıntısıdır.

Bu belge üç yeni işi anlatır:

TABLO 1

İş	Komut	Ne yapar
OLED ekran testi	RUN OLED	Paneli uçtan uca sınar (ACK → kurulum → dolu/boş → dama → çerçeve → yazı → animasyon)
Mikrofon yayını	MIC ON / MIC OFF	Canlı sesi WiFi üzerinden <a href="http://<ip>/mic.wav">http://<ip>/mic.wav adresinde yayınlar
ToF 4×4 matris	RUN TOF	VL53L1X'in ROI'sini 16 bölgeye taşıyıp 4×4 mesafe matrisi çıkarır
Kapanma onayı	(güç düğmesine kısa basış)	Anında kapanmak yerine OLED'de "KAPATILSIN MI?" sorar, 5'li tuşla onaylanır
ToF kalibrasyonu	TOF KALIBRE <mm>	Offset ve xtalk'ı birlikte ölçer, NVS'e yazar
Kablosuz komut	POST /cmd · GET /log · GET /sensors · GET /tof	USB kablosu olmadan bütün komutlar ve çıktıları
HTML panosu	panel/sensors.html · panel/tof.html	ToF ısı haritası + mikrofon + LDR, tarayıcıda

I. KARTI GÜNCELLEME

A. Kablosuz (OTA): normal yol

Kart açıkken WiFi zaten ayakta: kayıtlı bir ağ varsa ona bağlanır (STA), yoksa CircuitPal-XXXXXX adında kendi ağını açar (ADR-023, `cpal_wifi_ota`).

```
# 1) İmajı derle (tezgahtaki çipte 2 MB quad PSRAM var → psram2mb katmanı)
source ~/esp/idf_env.sh
cd firmware/apps/cpal_bringup
idf.py -B build_psram2mb -D CPAL_PSRAM2MB=1 \
-D SDKCONFIG=$PWD/sdkconfig.psram2mb.gen build

# 2) Kartın adresini öğren (seri porttan "WIFI IP" komutu da söyler)
# Aşağıdaki .34 örnek bir adrestir; kartın adresi ağa göre değişir.
# Tezgahtaki güncel kart (CPAL2DCF361): 192.168.1.49
# Bu satır KOPYALANIYOR: bayat kalırsa komut sessizce yanlış adrese
# gider ve "kart cevap vermiyor" diye aranır. Kart adresi değişince
# burası da değişmeli (6 Eyl: .139 -> .49).
export CPAL_IP=192.168.1.49

# 3) Gönder
python3 ../../tools/wifi_ota/wifi_ota_push.py \
build_psram2mb/cpal_bringup.bin
```

Kart imajı doğrular, yeniden başlar ve kendini geçerli işaretlemler (A/B + rollback, ADR-008). Doğrulama başarısızsa **eski imaj çalışmaya devam eder**.

Önce MIC OFF yaz. Cihazdaki HTTP sunucusu tek görevlidir: canlı ses yayını sürdüğü sürece `/ota`, `/info` ve `/imu` **bekler**. Yayın açıkken OTA göndermeye çalışırsan istek zaman aşımına düşer. Emniyet olarak yayın 10 dakikada kendini kapatır, ama doğrusu göndermeden önce kapatmaktır.

B. USB (yedek yol)

Kart CDC üzerinden görünür (`/dev/cu.usbmodemCPAL2xxxxxx`). Seri porttan FLASH komutu kartı ROM indirme moduna atar, ardından:

```
idf.py -p /dev/cu.usbmodemXXXX flash monitor
```

C. Komut nasıl gönderilir

Herhangi bir seri terminal (115200, satır sonu `\n`) ya da `firmware/apps/cpal_bringup/panel/index.html` (WebSerial paneli). Kart her sonucu **tek satır JSON** olarak basar:

s alanı: `ok · fail · check` (senin gözünle onaylayan gerekiyor) · `yok` (donanım takılı değil) · `skip · info`.

```
| {"t":"oled.desen", "s":"check", "k":"modul", "v":"Duzgun 8x8 dama tahtasi mi? ...", "ms":48213}
```

II. OLED EKRAN TESTİ: RUN OLED

Panel: SH1106, I2C adresi 0x3C, SDA=GPIO10 / SCL=GPIO11, 128×64. RUN ALL da bu testi koşar (panel tespit edilmişse).

A. Adımlar ve ne görmelisin

Hata olursa satırda **gerçek hata kodu** görünür, örneğin:

B. Bilinen belirsizlik

Kurulum dizisindeki 0xA1 (segment ters) ve 0xC8 (COM ters tarama) komutları **panelin lehimlenme yönüne** bağlıdır. Görüntü baş aşağı ya da aynalı çıkarsa bu iki komut 0xA0 / 0xC0 yapılmalıdır, firmware/apps/cpal_bringup/main/main.c içinde init_cmds dizisi, üzerinde "DOĞRULANMALI" notu var.

TABLO 2

Test kimliği	Ekranda	Ne anlar
oled.i2c	-	Panel I2C'de ACK verdi mi (0x3C)
oled.init	ekran açılır	SH1106 kurulum dizisi kabul edildi mi
oled.dolu	tamamen beyaz	Sönük kalan şerit = ölü satır/sütun
oled.temiz	tamamen siyah	Yanık kalan piksel = takılı segment
oled.desen	8x8 dama tahtası	Kayma varsa sütun ofseti hatası (SH1106'da ofset 2'dir)
oled.cerceve	dört kenarda 1 px çizgi	En dış satır/sütun gerçekten çizilebiliyor mu
oled.yazi	5 satır yazı, sonuncusu ters	Font/hizalama; ters satır = siyah üzerine beyaz
oled.animasyon	40 kare boyunca gezinen kutu	Tazeleme akıcı mı, kare düşüyor mu

```
{ "t": "oled.init", "s": "fail", "v": "kurulum sekansi dustu: ESP_ERR_TIMEOUT (0x107)" }
```

III. MIKROFON → BILGISAYARDA DINLEME

Mikrofon INMP441, I2S üzerinden. **Mahremiyet kapısı:** MIC_EN (GPIO6) altta 10K pull-down taşır, yani **açılıştaki mikrofon KAPALIDIR**.

MIC_LED (GPIO7) **yalnız mahremiyet göstergesidir** (ADR-037): tek anlamı "mikrofon açık". MIC ON verildiği **anda** yanar, dinleyicinin bağlanmasını beklemez; MIC OFF'a kadar yanık kalır. Yanıp sönmez, çünkü yanıp sönen bir ışık "kayıt var mı yok mu" sorusunu bulandırır. MIC_EN ile MIC_LED tek fonksiyondan (mic_gate_set) sürülür ve **ayrılmazlar**. Hayat belirtisi başka yerlerde: OLED kalp atışı noktası, WS2812 idle blink, JSON heartbeat satırı.

A. WiFi kimliği (repoda yok, NVS'te)

Ağ adı ve parolası depoya yazılmaz; karta bir kez söylenir, kart NVS'e kaydeder ve sonraki her açılıştaki kendi bağlanır.

```
WIFI STA <ağ adı>|<parola>
```

Ağ adında boşluk ve Türkçe karakter serbesttir; komuttaki argüman olduğu gibi alınır (büyük/küçük harf **korunur**):

```
WIFI STA Ev Agim|cokGizliParola
```

Kart kaydeder ve **yeniden başlar** (canlı AP→STA geçişi panic üretiyordu; kaydet + temiz açılış modeli güvenli). Sonra:

```
WIFI IP → {"t": "wifi.sta", "s": "ok", "v": "192.168.1.34"}
WIFI STA CLEAR → kaydı siler, SoftAP'ye döner
```

Kayıtlı ağ yoksa kart CircuitPal-XXXXXX (parola circuitpal) ağını açar ve adresi 192.168.4.1 olur.

Üç adımlı yol (ağ adında | varsa ya da satır 96 baytı aşacaksa; Studio hep bunu kullanır):

Kimlik ve ağ durumu (9 Eyl 2026):

```
INFO → {"t": "info", "s": "ok", "seri": "CPAL2DCF361", "ip": "192.168.1.49",
"ssid": "yigito", "mode": "sta", "saved_ssid": "yigito", "ms": ...}
```

mode: sta kullanıcının ağı, ap kartın kendi ağı, off WiFi kapalı. GET /info aynı ip/ssid/mode/saved_ssid alanlarını taşır; Studio'nun "robotu bu bilgisayarın WiFi'na bağla" akışı ve telefon eşleştirmesi bunlara dayanır (apps/studio/src/link/wifi-provisioning.mjs).

Kayıtlı ağ bulunamazsa kart canlı STA→AP geçişi YAPMAZ (panic riski, bkz. cpal_wifi_ota.c başındaki not): RTC belleğe bayrak yazıp yeniden başlar, temiz açılıştaki SoftAP'yi açar ve bayrağı siler. Bir sonraki yazılım reseti (WIFI STA ...) STA'yı yeniden dener. ! Bu yol derlendi ama **canlı kartta henüz doğrulanmadı** (9 Eyl 2026'da kart takılı değildi).

B. Yayını başlat

```
MIC ON
```

Kart adresi seri porta basar:

MIC ON mahremiyet kapısını **hemen** açar ve LED o anda yanar (ADR-037); akış dinleyici bağlanınca başlar. MIC OFF'a kadar kapı açık kalır.

C. Bilgisayarda dinle

```
# ffplay (en düşük gecikme)
ffplay -nodisp -autoexit -flags nobuffer -flags low_delay \
http://192.168.1.34/mic.wav

# VLC
vlc http://192.168.1.34/mic.wav
open -a VLC http://192.168.1.34/mic.wav # macOS

# Tarayıcı: Chrome/Firefox adresi doğrudan açar (Safari uzunluğu bilinmeyen
akışta güvenilir: ffplay ya da VLC kullan)
```

Yayın sürerken kart ~2 saniyede bir seviye raporu basar:

```
{ "t": "ses.akis", "s": "ok", "v": "akiyor, tepe=4310 (kazanc x4)" }
```

Ses çok kısıkça kazancı yükselt (INMP441 doğal olarak sessizdir):

```
MIC GAIN 8 (geçerli aralık 1..64, varsayılan 1)
```

Son ölçüm **-40,7 dBFS**: ses temiz ama kısık. Doğru varsayılan kazanç henüz seçilmedi, açık kalemdir (§6.2).

D. Kaydı .mp3 olarak sakla

Kart **MP3 üretmez ve üretmemelidir**: ESP32-S3'te donanım MP3 kodlayıcı yoktur; MP3 yazılım kodlayıcı (Shine/LAME sınıfı bir bağımlılık) ve ciddi CPU demektir, üstelik WiFi yığını ile I2S zaten aynı çekirdeği paylaşıyor. WAV'ın maliyeti sıfırdır: 44 baytlık RIFF başlığı + I2S'ten gelen ham PCM. 16 kHz / 16 bit / mono = 256 kbit/s, yerel ağda hiçbir şey. Dönüştürme bilgisayarda tek satır:

```
# 30 saniye kaydet, mp3 olarak yaz
ffmpeg -i http://192.168.1.34/mic.wav -t 30 kayit.mp3

# ham wav olarak saklamak istersen
ffmpeg -i http://192.168.1.34/mic.wav -t 30 -c copy kayit.wav
```

E. Yayını kapat

```
MIC OFF
```

MIC_EN düşer, MIC_LED söner, /mic.wav 404 döner ve HTTP sunucusu OTA için serbest kalır.

F. Sınırlar (bilinen, kabul edilmiş)

- **Tek dinleyici.** İkinci istek 400 döner.
- **Yayın sürerken OTA//info//imu bekler** (httpd tek görevlidir). OTA'dan önce MIC OFF.
- **10 dakika üst sınır:** unutulana bir oynatıcı kartı kilitlemesin diye yayın kendini kapatır.

```
WIFI SSID <ağ adı>      → {"t":"wifi.ssid", "s":"ok", ...}
WIFI PASS <parola>      → {"t":"wifi.pass", "s":"ok", ...}      (parola loga basılmaz)
WIFI KAYDET             → {"t":"wifi.sta", "s":"ok", ...}      sonra yeniden başlar
```

```
{"t":"ses.akis", "s":"ok", "v":"ACIK -> http://192.168.1.139/mic.wav (ffplay ile ac) · MIC_LED GPIO7=1"}
```

- **D12:** yayın açıkken RUN SES içindeki hoparlör ve mikrofon testleri skip döner, I2S_NUM_0 tektir ve mikrofonla hoparlör eş zamanlı etkinleşemez.

IV. KAPANMA ONAYI: GÜÇ DÜĞMESİNE BASINCA "KAPATILSIN MI?"

A. Eski davranış (1 Eylül kuralı)

Güç düğmesi (SW9) basıldığı **anda** kapanma dizisi koşuyordu.

B. Yeni davranış (3 Eylül, kullanıcı isteği)

- 1) **Kısa basış** → kapanma yok. Önce **motorlar kesilir** (TB6612_EN LOW, çocuğun elindeki robot onay beklerken hareket etmesin), sonra OLED'de onay ekranı açılır:

```
KAPATILSIN MI?
<  HAYIR      EVET      >

      OK = KARAR
      7 SN
```

- 1) Seçim **karttaki 5'li tuş kümesiyle** yapılır (OLED'in sağındaki R-merdiveni butonları, CPAL_PIN_BTN_LADDER_ADC):
 - **SOL** → HAYIR, **SAĞ** → EVET (YUKARI/AŞAĞI da seçimi değiştirir)
 - **ONAY** → kararı uygular
- 2) **EVET** → normal kapanma dizisi koşar (cpal_latch_shutdown: STBY LOW → MIC_LED söner → MCU_HOLD bırakılır). Ekranda "KAPANİYOR" yazar.
- 3) **HAYIR** veya **10 saniye zaman aşımı** → ekranda "DEVAM", robot çalışmaya devam eder. Onay ekranı açık kaldığı her turda TB6612_EN yeniden LOW'a çekilir: o sırada koşan bir motor testi bile robotu hareket ettiremez.
- 4) **Varsayılan seçim HAYIR'dır**, yanlışlıkla ONAY'a basmak kartı kapatmamalı. Her adım seri porta da düşer:

C. Değişmeyenler

- **FORCE OFF (uzun basma) aynen duruyor.** Düğmeyi 2–8 saniye basılı tutmak gücü **donanımdan** keser; yazılım bunu ne geciktirir ne iptal eder. Onay ekranı açıkken bile geçerlidir, kart kilitlenirse çıkış yolu budur.
- **Ürün imajı (cpal_main) etkilenmedi.** Onay bir *politika kancasıdır* ve kancayı yalnız bring-up uygulaması takar; takılmadığında davranış birebir eski hâlidir. D1 (MCU_HOLD) ve D14 (SL_BTN yalnız ADC) mekanizmaları değişmedi.
- **OLED takılı değilse** onay sorulmaz: göremeyeceğin bir soruyu sormak yanlış olurdu; kart eski davranışla hemen kapanır ve bunu seri porta raporlar.

D. Kapatmak istersen

E. Bilinen sınır

Onay ekranı açıkken (en fazla 10 saniye) SW9 örneklenmez; bu pencerede `guc.forceoff` raporları seri porta düşmez. **Donanımın 8 saniyelik force-off kesimi bundan etkilenmez**, zaten olayın bütün amacı budur.

Onay penceresinin ortasında bir OTA yazımı başlarsa onay **sessizce iptal edilir** (kapanma yok; ekrana ve seri porta hiçbir şey yazılmaz): flash yazılırken ADC/I2C/CDC'ye dokunmama kuralı her şeyin önündedir.

Ekrandaki yazılar 5×7 ASCII font ile çizilir, yani diakritik taşıyamaz. Bu yüzden yalnız **diakritiksiz de doğru yazılan** kelimeler seçildi (KAPATILSIN MI?, HAYIR, EVET, KAPANİYOR, DEVAM, KARAR); yön bilgisi kelime yerine ok işaretleriyle verildi. Ürün yolunda (u8g2 renderer) Türkçe glif taşıyan bir font gerekir.

```
{ "t": "guc.kapanma.onay", "s": "check", "v": "OLED'de soruldu: SOL/SAG ile sec, ONAY ile karar ver (10 sn sonra VAZGECILIR)" }
{ "t": "buton.merdiven", "s": "info", "v": "SAG tusu algilandi" }
{ "t": "guc.kapanma.onay", "s": "ok", "v": "EVET onaylandi, kapanma sekansi kosuyor" }
```

SHUTDOWN ONAY OFF → 1 Eylül kuralına dön (kısa basış anında kapatır)
 SHUTDOWN ONAY ON → onay ekranını geri aç
 SHUTDOWN ARM / OFF → kısa basışın kapanma tetiklemesini büsbütün aç/kilitle
 SHUTDOWN NOW → onay sormadan hemen kapan

TABLO 3

Eskiden "doğrulanmalı" olan	Ölçülen sonuç
SH1106 yön komutları 0xA1 / 0xC8	Panel karta 180° dönük lehimlenmiş; dizi 0xA0 / 0xC0 yapıldı (§9)
5'li tuş merdiveni bantları (CPAL_BTN_BANDS)	Onay ekranında SOL/SAĞ/AŞAĞI algılandı; bantlar bu kartta tutuyor
Gerçek SW9 basışıyla onay akışı	Uçtan uca koştı; iptal sonrası sonsuz döngü kusuru bulundu ve giderildi
INMP441'in L/R slot seçimi	Ham dökümde SOL slot doğrulandı (sağ slot sabit 0x00000001)
WiFi + I2S aynı anda koşarken kesinti	Akış gerçek zaman hızında (31 KB/s ≈ 32 KB/s); zarf modülasyonu %34,7 @1-10 Hz, kesinti yok
VL53L1X kimliği ve 16-bit yazmaç erişimi	MODEL_ID = 0xEACC, 91 baytlık ULD bloğu çalışıyor

V. DOĞRULAMA DURUMU

Bu bölüm §9'daki tezgâh koşumlarının özetidir. Yalnız derlemeyele doğrulanmış hiçbir madde kalmadı; kalan açık kalemler aşağıda ayrı listede.

A. Tezgâhta doğrulandı (CPAL2DCF361, 3 Eylül 2026)

B. Hâlâ açık

- **MIC GAIN başlangıç değeri.** Ses temiz ama **seviye düşük: -40,7 dBFS** (STATE.md, 3 Eyl 21:30). MIC GAIN ile yukarı çekilmeli; doğru varsayılan henüz seçilmedi.
- **ToF fiziksel kalibrasyonu.** Kod yolu hazır ve NVS'e bağlı, ama gerçek ölçüm yapılmadı: hedefi 140 mm'ye koyup TOF KALIBRE 140 verilmeli (§8.2).
- **ToF matris yönü.** SPAD merkez tablosunun karta göre yönü elle doğrulanmadı (§8.3).
- **VLC/ffplay'in uzunluğu bilinmeyen (chunked) WAV akışını açması.** Panel fetch + WebAudio yoluna geçtiği için bu yol ölçülmedi.
- **OTA sonrası tek seferlik PANIC** (checkpoint=40). Sonraki boot'lar sağlam; USB seri backtrace gerekiyor (§9).

VI. KABLOSUZ KOMUT KANALI (USB KABLOSU OLMADAN)

Tezgâhta USB takılı olmayabildiği için seri komutların tamamı HTTP'ye de açıldı. cpal_main bu uçları **kaydetmez**, ürün imajında komut ucu yoktur.

```
IP=192.168.1.49
# Komut çalıştır: cevap, 0 KOMUTUN ürettiği rapor satırlarıdır
curl -s -m 90 -X POST --data-binary "RUN TOF" http://$IP/cmd
# Halka tamponundaki son ~6 KB rapor
curl -s http://$IP/log
# Sensör özeti (HTML panosunun veri kaynağı): ADC/mux yüzünden ~105 ms
curl -s http://$IP/sensors
# Yalnız ToF: hafif uç, ADC/mux'a HİÇ dokunmaz (~22 ms)
curl -s http://$IP/tof
```

GET /tof panelin canlı matris sayfası için eklendi:
 /sensors her çağrıda mux dwell'lerini ödediği için

TABLO 4

Sayfa	İçindekiler
sensors.html	ToF 4×4 ısı haritası, mikrofon yayın denetimi ve oynatıcı, LDR/VBAT/NTC göstergeleri, komut kutusu, günlük
tof.html	Yalnız ToF: canlı matris, GET /tof üzerinden ~120 ms tazelemeyle
imu.html	LSM6DSL ivme/jiroskop okumaları
index.html	WebSerial paneli (USB kabloyla)

panelde görünen gecikme 1,5 saniyeye çıkıyordu. Ayrı uçla **120 ms'**e indi (STATE.md, 3 Eyl).

GET /sensors çıktısı (alan adları kısaltılmadan, kesilmiş örnek):

```
{ "altkart":true, "ldr_mv":631, "vbat_mv":614, "ntc_mv":605,
  "mic_acik":false, "mic_akiyor":false, "mic_tepe":0, "mic_tepe_yuzde":0,
  "mic_sifir_yuzde":0, "mic_slot":"SOL", "mic_kazanc":1,
  "tof_algilandi":true, "tof_hazir":true, "tof_hata":0,
  "tof_tamamlanan":16, "tof_gecerli":16, "tof_var":true,
  "tof":[[0,0,0,0],[0,0,0,0],[0,0,0,0],[0,0,0,0]],
  "tof_tarama":false, "tof_yas_ms":-1, "tof_akis":false,
  "tof_mm":0, "tof_st":0, "tof_hz":0, "tof_tb_ms":15, "tof_akis_tb_ms":20,
  "tof_durum":[[0,0,0,0],[0,0,0,0],[0,0,0,0],[0,0,0,0]] }
```

GET /tof aynı alanları **aynı adlarla** döner (panel iki uçtan da aynı çizim fonksiyonunu besleyebilsin) ve ayrıca tof_roi, tof_bindirme, tof_i2c_hz, tof_kalibre, tof_offset_mm, tof_xtalk, tof_matris_dongu, tof_matris_ms, tof_matris_hz10 taşır. altkart alanı ayrıca bildirilir: alt kart köprüsü takılı değilken LDR/VBAT/NTC yüzen mux hatundan ~620 mV'a yapışır ve bu bir **ölçüm değildir**.

Smr: esp_http_server tek görevlidir. Uzun bir komut (RUN ALL) sunucuyu o süre boyunca meşgul eder; istemci zaman aşımına düşse bile komut koşar, çıktısı /log'dan okunur.

A. HTML panosu

firmware/apps/cpal_bringup/panel/ altında üç sayfa var; dosyayı tarayıcıda aç, kartın IP'sini yaz. Uçlar CORS açık döndüğü için file:// ile açmak yeterlidir.

VII. ToF 4×4 MATRİSİ: RUN TOF

Sensör TOF400C (VL53L1X, 0×29). VL53L1X **tek bölge** bir sensördür; 16×16 SPAD dizisi üzerinde ROI (ilgi bölgesi) programlanabilir. 4×4'lük bir ROI'yi 16 farklı SPAD merkezine sırayla taşıyıp her birinde ölçüm alarak 4×4 matris çıkarıyoruz (ST AN5191 "multi zone scanning" yöntemi).

Kaynak / lisans: 91 baytlık varsayılan yapılandırma bloğu ve yazmaç adresleri ST'nin resmî VL53L1X ULD API'sinden alındı (github.com/stm32duino/VL53L1X, © 2018 STMicroelectronics, BSD-3-Clause), uydurulmadı. Gerçek vendor'lama (firmware/components/vendor/vl53l1x_uld/) ve ticari lisans doğrulaması **hâlâ açık**

(plan §6 / S6); buradaki minimal alt küme yalnız bring-up içindir.

```
| curl -s -m 120 -X POST --data-binary "RUN TOF" http://$IP/cmd
```

Örnek çıktı:

Ham durum kodları (ULD eşlemesi): **9 = geçerli**, 4 = sinyal yok (önünde nesne yok), 6 = gürültülü, 8 = çok yakın, 5 = menzil dışı, 13 = ölçüm yok.

A. Hız ve ROI (ölçülmüş değerler)

Ölçüm bütçesi başına tarama süresi DCF361’de ölçüldü (sürekli matris kipi):

15 ms varsayılandır ve TOF_BUDGETS tablosunun alt sınırındır. Uzak ya da mat hedefte hücreler "sinyal yok"a düşerse TOF_TB_20 bir kademe geri alır. Sürekli tek nokta akışı ayrı bütçe kullanır: 20 ms, **42 ölçüm/sn**.

ROI kenarı 4 SPAD’dır (s_tof_roi, TOF_ROI <4.16> ile değiştirilir). Bir ara ROI 8 denendi; ölçümde komşu hücrelerin 8 SPAD’ın 5-6’sını **paylaştığı**, yani matrisin gerçek 4×4 olmadığı görüldü. R=4’te merkezler 2/5/9/13’e düşer ve bindirme sıfırdır. Bedeli daha az ışık ve daha yüksek sigma; bunu kalibrasyon ve bütçe karşılar.

B. Kalibrasyon: TOF_KALIBRE <mm>

ULD’nin offset ve xtalk kalibrasyonu uzun süre **hiç yapılmı-yordu**. Artık tek komutla ikisi birden alınır ve NVS’e yazılır:

```
| TOF_KALIBRE 140 → hedefi TAM KARŞIYA, 140 mm'ye koy (ST'nin önerisi)
| TOF_KALIBRE SIFIRLA → kaydı sıfırlar
```

Geçerli aralık 40..1000 mm; 50 ölçümün en az 10’u geçerli olmalıdır. Offset sensörün sıfır noktasını, xtalk **kapak camının** yansımalarını düzeltir; ikisi birlikte alınmazsa yakın mesafe ölçümü kayar. **Fiziksel kalibrasyon adımı henüz yapılmadı** ve kullanıcıyı bekliyor.

C. Matris yönünü doğrulama

SPAD merkez tablosunun karta göre yönü **doğrulanmadı**. Doğrulama yolu: elinizi alanın bir köşesinde gezdirin ve matriste hangi hücrenin değiştiğine bakın (panel/tof.html canlı matris sayfası bunun için yazıldı). Ters veya aynalı çıkıyorsa TOF_SPAD_GRID tablosu döndürülür. Tek tek SPAD merkezi denemek için:

```
| TOF_CENTER 199 → o merkezde tek ölçüm, mm + durum döner
```

D. İlgili komutlar

I2C hızı cihaz başmadır. OLED 1 MHz, ToF ve IMU 400 kHz koşar. ToF’ta 400 kHz ile 1 MHz arasında **0 ms fark ölçüldü**; darboğaz veri yolu değil, ölçüm bütçesidir. Hızı değiştirdikten sonra taramayı ölç: tof_gecerli 16/16 kalmalıdır.

```
{ "t": "tof.init", "s": "ok", "v": "MODEL_ID=0xEACC (beklenen 0xEACC), kısa menzil kipi, 100 ms butce" }
{ "t": "tof.matris", "s": "info", "v": "satir0: 410 395 402 417 (durum 9 9 9 9)" }
```

TABLO 5

Bütçe	Tarama süresi	Hız	Geçerli hücre
33 ms	479 ms	2,0 / sn	16/16
20 ms	319 ms	3,1 / sn	16/16
15 ms	199 ms	5,0 / sn	16/16

TOF → tek mesafe ölçümü (TOF MM ile aynı)
TOF TARA → matris taramasını tetikler, anında döner (tof_scan_task)
TOF ON / TOF OFF → sürekli tek nokta akışı
TOF MATRIS ON/OFF → sürekli matris taraması
TOF REF → ROI'ye dokunmadan tam alan referans ölçümü
TOF TB <ms> → matris ölçüm bütçesi · TOF AKIS TB <ms> → akış bütçesi
TOF ROI <4..16> → ROI kenar uzunluğu (SPAD)
I2C HZ <100000..1000000> → ToF I2C saati (datasheet sınırı 400000)

VIII. TEZGÂHTA ÇIKAN BULGULAR (3 EYLÜL 2026)

TABLO 6

Bulgu	Sonuç
OLED panel karta 180° dönük lehimlenmiş	Kurulum dizisi 0xA1/0xC8 → 0xA0/0xC0 yapıldı. Artık "doğrulanmalı" değil, ölçülmüş gerçek.
Animasyonda ekran donuyordu	Her karede 8 sayfayı birden göndermek I2C'yi tıkiyordu. Artık gölge tampon ile yalnız değişen sayfa gönderiliyor; test uçtan uca ~13 s'de bitiyor.
Kapanma onayı sonsuz döngüye giriyordu	Onay iptal edilince SW9 hâlâ basılı okunduğu için anında yeniden tetikleniyordu. Artık butonun en az bir kez serbest görülmesi şart.
ToF: bütün bölgeler 0 mm	Veri-hazır polaritesi ters alınmıştı (ULD GetInterruptPolarity: pol = !((0x0030 & 0x10)>>4)). Düzeltildi.
ToF: ölçümler bayat bayrak okuyordu	Ölçümden önce kesme temizlenmiyordu. Artık önce temizle → başlat → bütçe kadar bekle → yokla .
VL53L1X MODEL_ID = 0xEACC	Doğru çip, 16-bit yazmaç erişimi ve 91 baytlık ULD bloğu çalışıyor .
Tuş merdiveni çalışıyor	Onay ekranında SOL/SAĞ/AŞAĞI tuşları gerçek kartta algılandı, CPAL_BTN_BANDS bantları bu kartta tutuyor.
LDR / VBAT / NTC aynı bantta (~610–630 mV)	Alt kart 22AWG köprüsü bağlı değil; mux Z hattı yüzüyor. Donanım eksikliği, yazılım hatası değil.
Mikrofon: örneklerin tam yarısı sıfırdı	ESP32-S3'te I2S_STD_PHILIPS_SLOT_DEFAULT_CONFIG MONO istense bile slot_mask'i SLOT_BOTH bırakıyor; mikrofon tek slotta konuştuğu için her ikinci örnek 0 geliyordu (ölçüm: 126281/252416 = %50.0). Artık STEREO okunup dolu slot ölçülerek seçiliyor. Ham dökümde INMP441'in SOL slotta olduğu, sağ slotun sabit 0x00000001 olduğu görüldü.
Mikrofon: sinyal raya dayanıyordu	24-bit veri büyük bir DC bileşeni taşıyor (0x99). DC süzgeci + açılışta DC tohumlama eklendi; ölçek adımı >>6 → >>8 inceltildi, varsayılan kazanç 1. Son ölçüm: 13,57 s, sıfır %0.05, tepe %31, kırpma 0, RMS -29,5 dBFS.
ToF: mesafeler 0–33 mm saçmalıyordu	Tam-ROI referans ölçümü 185/187/188 mm verdi → boru hattı (init, yazmaç, bayt sırası, mm ölçeği) doğruyd . Suçlu 4×4'lük ROI: çok az ışık toplayıp çıkışma zeminine kilitleniyordu. ROI kenarı 8'e çıkarıldı (bindirmeli bölgeler) → 16/16 geçerli , 166–270 mm, referansla tutarlı. ! Bu satır bir sonraki satırla aşıldı : ROI 8 hücreleri birbirine bindiriyordu.
ToF: "değerler gerçekçi gelmiyor"	ROI 8'de merkezler 4/6/8/11 çıkıyor ve komşu hücreler 8 SPAD'ın 5-6'sını paylaşıyordu , matris gerçek 4×4 değildi, hücreler neredeyse aynı alanı ölçüyordu. ROI 4'e geçildi: merkezler 2/5/9/13, bindirme sıfır. Bedeli daha az ışık; kalibrasyon ve bütçe karşılıyor.
ToF: offset/xtalk kalibrasyonu hiç yapılmıyordu	ULD'nin CalibrateOffset / CalibrateXtalk eşdeğeri eklendi, NVS'e bağlandı: TOF KALIBRE <mm> (bkz. §8.2). Fiziksel kalibrasyon adımı kullanıcıyı bekliyor .
Panelde ToF gecikmesi 1,5 sn	/sensors her çağrıda mux dwell'lerini ödüyordu (~105 ms) ve panel onu yokluyordu. ADC'ye hiç

TABLO 7

Sınanan	Neden gözle bulunmuştu
Program yüklendi ve çalışıyor	—
Ekranın sahipliği programa geçti	İki çerçeve tamponu vardı, HAL'inkini kimse panele basmıyordu
Üç ardışık yükleme, kart resetlenmedi	İkinci yükleme <code>cpal_vm_unload()</code> ile VM görevini çarpıştırıp PANIC atıyordu
STOP / RUN kabul edildi	Studio'dan durdurunca ekran donuyordu
LED TEK komutu (HG-2 ölçümü)	—
Programın yazdığı satır günlüğe düşüyor	<code>cpal_print</code> yalnız OLED'e yazıyordu; Studio'nun seri çizicisi bu satırları okur
Çizilebilir bir sayı yazıldı	Kanal çalışıp ölçüm gelmemesini ayırt etmek için
GET /ekran 1024 bayt	Yerleşim hataları yalnız ekranı FOTOĞRAFLAYARAK bulunabiliyordu
TUS ekranı GERÇEKTEN değiştirdi	"Komut kabul edildi" yetmez; menü açıldı mı, ekran dökümü söyler

çağrılarını (motor/sensör) HAL kapısından geçemez. Bu ucun gerçek yeri ürün imajıdır, `docs/agents/DECISIONS.md` **ADR-032 (taslak)** iki seçeneği ve bedellerini yazar; karar verilmeden `cpal_main` WiFi'a açılmaz.

IX. TEK KOMUTLA SINAMA: KART_SMOKE

```
python3 tools/kart_smoke/kart_smoke.py 192.168.1.49
```

Elde, göz yordamıyla aranan her şeyi tek komutla yürür ve GEÇTİ/KALDI der. Kapsadığı zincirler:

! "Kabul edildi" ile "oldu" ayrı şeyler. Tuş sınaması komutun 200 dönmesine bakmıyor; komuttan önce ve sonra ekran dökümünü alıp KARŞILAŞTIRIYOR. Bu ayrım bu projede birkaç kez pahalıya patladı (fail maskesi köprülülük aileleri "ulaşamadı" sanıyordu, smoke testi geçmiş bir PANIC satırına takılıyordu).

Ekranı gözle görmek için ayrıca:

```
python3 tools/oled_shot/oled_shot.py 192.168.1.49 -o ekran.png
python3 tools/oled_shot/oled_shot.py 192.168.1.49 --metin # terminalde
```

X. KABLOSUZ PROGRAM YÜKLEME: POST /PROGRAM, POST /VM

/ota ile karıştırma. /ota firmware imajıdır (A/B bölüm, rollback); yanlış dosya kartı tuğlalayabilir. /program yalnız çocuğun .cpalb programıdır: RAM'e yüklenir, doğrulama düşerse hiçbir şey değişmez.

```
IP=192.168.1.49
# Programı yükle ve çalıştır (autoRun)
curl -X POST --data-binary @examples/dans/program.cpalb http://$IP/program
# → {"bayt":147,"calisiyor":true}

# Kontrol düğmeleri
curl -X POST --data-binary "RUN" http://$IP/vm
curl -X POST --data-binary "STOP" http://$IP/vm
curl -X POST --data-binary "PAUSE" http://$IP/vm
curl -X POST --data-binary "STEP" http://$IP/vm
```

Doğrulama seri yolla aynı kapılardan geçer (`cpal_vm_load`: sihirli sayı, format sürümü, opcode tablosu hash'i, CRC, yerleşim, statik opcode denetimi). Sessiz başarısızlık yoktur; her ret bir HTTP kodu + Türkçe mesaj döner:

409 ayrı tutulur: hash uyuşmazlığı "robotu güncelle" demektir, "programın bozuk" değil, editör bunu çocuğa farklı anlatmalıdır.

A. Kapsam uyarısı

Bu uçlar yalnız bring-up imajındadır. `cpal_main` işleyicileri kaydetmez, yani ürün imajında /program ve /vm yoktur. Ayrıca bring-up `cpal_hal`'i kurmaz (ADC1 birimini kendisi tutar), dolayısıyla burada program yüklenir, doğrulanır ve VM tick'lenir ama içindeki donanım

```
HTTP 400 {"hata":"bu bir CircuitPal programi degil (sihirli sayi tutmuyor) (cihaz hash=0xbcc3e203)"}
HTTP 409 {"hata":"robotun yazilimi editorden eski (opcode tablosu farkli) (cihaz hash=0x...)"}
HTTP 400 {"hata":"calistirilacak program yok"}
```