

ESP32-baserat larm – batteri och energioptimeringsstudie

Tidig branddetektion med en tvåstegs sensorarkitektur och frekvensanalys — batteridrivet i veckor till år beroende på mätintervall.

Ali Kadem · Ali Chahrour

Steg 1 · vaktpost

DS18B20

Digital temperatursensor som svepmäter köket var 5:e sekund. Konfigurerad till 9 bitars upplösning.

94 ms

DS18B20 9-bit

Steg 2 · vid spik

MLX90614

Infraröd sensor som mäter värmestrålning och fångar upp onormala amplituder.

128 sampel

å 100 Hz · 1,285 s

Beslut

ESP32 + FFT

128-punkters FFT söker karakteristiska mönster i bandet 5–20 Hz.

1,5–6,5 ms

FFT beroende av MCU

Utgång

LoRa (SX1262)

Trådlös sändning (Time on Air $\approx$ 50 ms vid SF7) till gateway och notis vid förhöjd brandrisk.

~50 ms

sändtid (SF7)

Fig. 1. Tvåstegs sensorarkitektur. IR-sensorn är helt avstängd i normaldrift och slås på endast när DS18B20 registrerar en temperaturspik. Cykeltid 5 sekunder. Hela enheten drivs av ett 1 500 mAh Li-Po-batteri.

Problem

Köket är hemmets vanligaste plats för bränder, och spisen är den vanligaste startpunkten. Vanliga brandvarnare reagerar **först när röken når dem** — då har branden ofta redan tagit fart.

Vi ville bygga ett **proaktivt larm** som upptäcker **onormala mönster i värmesignalen** direkt, är trådlöst och kan drivas **underhållsfritt under långa intervaller** på ett vanligt batteri utan att kompromissa med säkerheten.

Metod

Vi jämförde tre XIAO-utvecklingskort — **ESP32-C3, ESP32-C6 och ESP32-S3** — som representerar olika processorarkitekturer (RISC-V respektive Xtensa LX7 med DSP-stöd).

- En billig **temperatursensor (DS18B20)** agerar vaktpost och läser temperaturen var 5:e sekund. En *Double Wake*-strategi minimerar tiden processorn är vaken under sensorns konverteringsfas.
- Vid en spik aktiveras den **infraröda sensorn (MLX90614)** som samlar 128 mätpunkter på 1,285 s.
- Frekvensanalys (FFT)** letar efter karakteristiska variationer i bandet 5–20 Hz, vilket skiljer brandrisk från normal matlagning, sol och bakgrundsstrålning.
- På grund av hårdvarubegränsningar **modellerades strömförbrukningen analytiskt** utifrån tillverkarnas datablad. Exekveringstider mättes empiriskt via *micros()* på respektive utvecklingskort.

Resultat

~25 dagar

normaldrift, 5 s cykel
(Tabell 9, alla MCU $\approx$ 2 mA)

~1389 dagar

15 min cykeltid — 3,8 år
(teoretiskt, Scenario 3)

1,5 ms

FFT på ESP32-S3
vs 6,0 ms (C6) · 6,5 ms (C3)

Scenario 1 — Normaldrift (Tcycle = 5 s)	Iavg	Drifttid
XIAO ESP32-C3	1,94 mA	~26 dagar
XIAO ESP32-C6	2,00 mA	~25 dagar
XIAO ESP32-S3	2,29 mA	~22 dagar

Tabell 7. Genomsnittlig ström och teoretisk drifttid i normaldrift, 1 500 mAh Li-Po (DoD 80 %).

Batterilivslängd vs. mätintervall

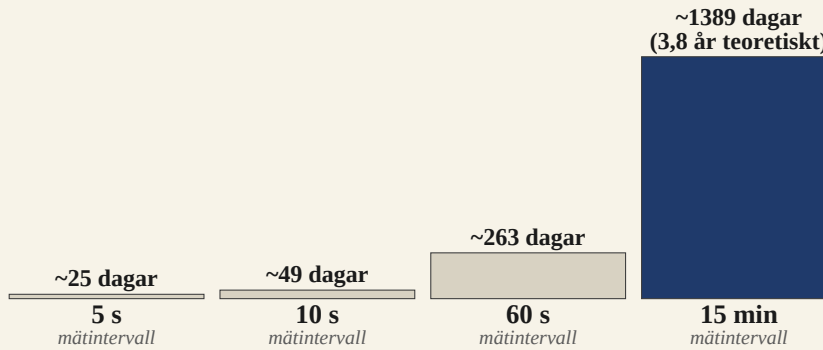


Fig. 2. Teoretisk batterilivslängd för XIAO ESP32-C6 vid olika cykeltider (Scenario 3, Tabell 9). 1 500 mAh Li-Po, DoD 80 %. Värdena är en teoretisk övre gräns; batteriets självurladdning ($\approx$ 3–5 % per månad) reducerar den praktiska drifttiden — vid 15 min ner till ca 357 dagar.

Strömförbrukning per plattform

Driftläge	C3	C6	S3
Deep Sleep	0,054 mA	0,025 mA	0,024 mA
DS18B20-mätning	36,5 mA	41,5 mA	51,5 mA
IR-skanning + FFT	81,5 mA	86,5 mA	101,5 mA
LoRa-sändning	120 mA	120 mA	130 mA

Tabell 6. Modellerad strömförbrukning per driftläge för respektive XIAO-utvecklingskort. Deep Sleep-strömmen styrs i praktiken mer av kortets perifera kretsdesign än av själva processorarkitekturen.

Lösning

Lösningen kombinerar tre delar:

- En **tvåstegs sensorarkitektur** där en billig temperatursensor vaktar kontinuerligt och den dyrare IR-sensorn bara väcks vid en spik.
- Frekvensanalys (FFT)** i 5–20 Hz-bandet filtrerar bort sol och andra störningar — endast onormala mönster utlöser larm.
- Strikt duty cycling** där enheten vilar i djupsömn (24–54 μ A beroende på kort) och bara vaknar periodiskt.

Diskussion & slutsats

Systemet är I/O-bundet, inte beräkningsbundet. IR-sensorn tvingar mikrokontrollern att vara vaken i $\sim$ 1,28 s per larm. Xtensa-arkitekturens snabbare FFT (1,5 ms vs 6 ms) sparar mindre än 0,4 % av vakentiden — en högpresterande arkitektur ger ingen reell vinst i denna tillämpning.

Kortlayouten dominerar djupsömn. XIAO ESP32-S3 uppvisar lägre viloström än C3 trots att C3:s RISC-V-chip i teorin är strömsnålast. Kortets perifera kretsdesign har större betydelse i praktiken än själva processorarkitekturen.

Duty cycling vs. reaktivitet. 5 s cykeltid är optimalt för snabb detektion men ger bara ~25 dagars drifttid — kommersiellt ogångbart. 15 min cykel ger teoretiskt 3,8 år, men då blir batteriets **självurladdning** ($\sim$ 3–5 %/månad $\approx$ 0,104 mA) den dominerande förbrukaren och drifttiden sjunker till ca 357 dagar. Li-Po-cellens hylltid (2–3 år) sätter en ytterligare gräns.

Slutsats. En underhållsfri drifttid mellan 25 dagar och knappt 1 år är realistisk på ett 1 500 mAh Li-Po-batteri, beroende på vald cykeltid. Den största vinsten ligger inte i snabbare processorer utan i hur länge enheten kan sova och i hur kortlayouten utformas.