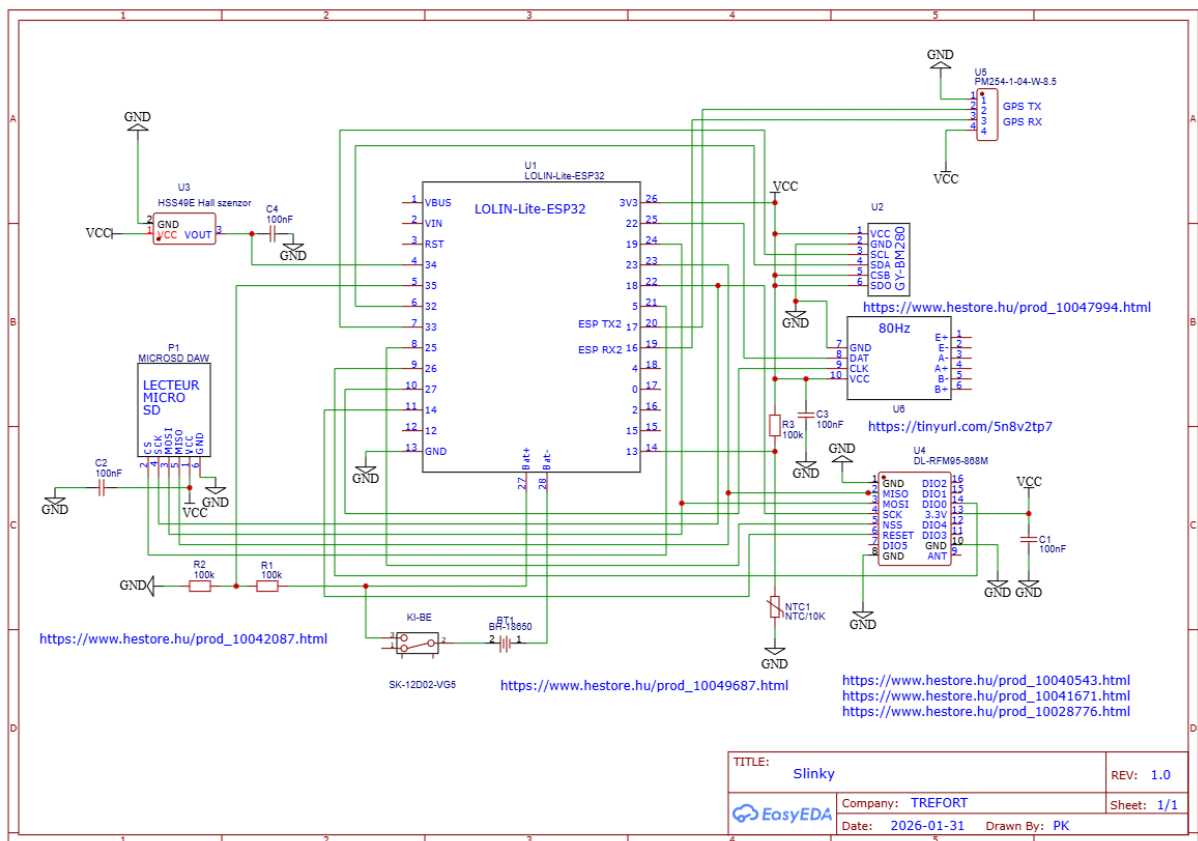


A hardver

Hardver felépítésének összefoglalása

A CanSat fedélzeti elektronikája egy ESP32-alapú, integrált szenzorplatform, amely egyetlen mikrokontroller köré szervezve valósítja meg a mérési, adattárolási és kommunikációs feladatokat. A rendszer kialakításánál elsődleges szempont volt az alacsony tömeg, az egyszerű bekötés, valamint az, hogy minden alrendszer függetlenül is tesztelhető legyen. A rendszer kapcsolási rajza az 1. ábrán látható.



Központi vezérlőegység

A rendszer központi eleme egy **ESP32 mikrokontroller**, amely biztosítja:

- a szenzoradatok kiolvasását,
- az adatok előfeldolgozását,
- a helyi adattárolást,
- valamint a vezeték nélküli kommunikációt.

Az ESP32 beépített perifériái (SPI, I²C, UART, ADC) lehetővé teszik, hogy külső segédmikrokontroller nélkül, egyetlen vezérlőegységgel valósuljon meg a teljes rendszer.

Szenzor alrendszerek

Környezeti szenzorok

Környezeti szenzor (BME280 + termisztor) Az I²C buszon csatlakozó BME280 szenzor méri a hőmérsékletet, a légnyomást és a relatív páratartalmat. A légnyomásból szoftveresen számított magasság szolgáltatja a repülés egyik alap paraméterét. A BME280 hőmérséklet-mérése a CanSat belsejében történik, ezért ezt az értéket részben befolyásolja az elektronika működéséből származó önmelegedés. Ennek kiküszöbölésére a rendszer egy külön, passzív termisztoros hőmérőt is tartalmaz, amely a CanSat külső felületéhez közel helyezkedik el, és így a környezeti levegő tényleges hőmérsékletét méri. A termisztor analóg bemenetre csatlakozik, gyors hőkövetése és kis hőkapacitása miatt alkalmas a rövid időskálájú hőmérséklet-változások detektálására. A két hőmérsékleti adat együttesen lehetőséget ad:

- a belső és külső hőmérséklet összehasonlítására,
- a BME280 mérésének validálására,
- valamint az elektronika hőterhelésének repülés közbeni nyomon követésére.

Ez a redundáns mérési megoldás növeli a hőmérsékleti adatok megbízhatóságát és a repülési környezet pontosabb jellemzését.

Gyorsulásmérő rendszer (HX711 + terhelésmérő cella)

A dinamikus gyorsulás mérése egy rugó–tömeg rendszerhez csatlakoztatott terhelésmérő cellával történik. A mérőjelet a HX711 nagyfelbontású, differenciális ADC erősíti és digitalizálja, amelyet az ESP32 dedikált GPIO lábakon keresztül olvas ki. A mintavételi frekvencia 80 Hz.

Hall-effektus szenzor

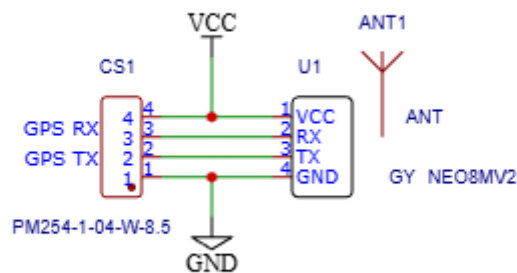
Az analóg kimenetű Hall-szenzor közvetlenül az ESP32 ADC bemenetére csatlakozik. Feladata a mágneses tér változásának detektálása, amely kiegészítő információt szolgáltat a rendszerbe épített rugó mechanikai mozgásairól (aktuális megnyúlásáról).

Helymeghatározás

A CanSat pozíció- és időadatainak meghatározását egy NEO-8 GPS egység végzi. A modul egy különálló panelen, a CanSat felső részén (tetőpanel) kap helyet, ami kedvezőbb rálátást biztosít az égboltra, és csökkenti a fémes és elektronikai alkatrészek által okozott árnyékolást és zavarást. A GPS modul soros (UART) interfészen keresztül csatlakozik az ESP32 mikrokontrollerhez. A tipikus bekötés:

TX (GPS) → RX (ESP32 UART), RX (GPS) → TX (ESP32 UART)

A modul alapértelmezett 9600 baud rátával működik, és szabványos NMEA üzeneteket szolgáltat. A GPS adatok közül a rendszer a földrajzi szélességet, hosszúságot, magasságot, valamint az időbélyeget használja fel telemetriai és kiértékelési célokra. Amennyiben műholdfix nem áll rendelkezésre, a GPS-hez tartozó adatok a telemetriában jelölten, érvénytelen (NA) értékkel kerülnek továbbításra. A GPS egység mechanikai és elektromos elkülönítése növeli a mérés megbízhatóságát, és hozzájárul a repülés alatti stabil pozíciómeghatározáshoz.



2. ábra: A GPS egység kapcsolási rajza

Adattárolás

A fedélzeti adattárolást egy **microSD kártya** biztosítja SPI buszon keresztül.

A kártya alkalmas:

- mérési adatok időbélyeges naplózására,
- hibakeresési logok tárolására,
- repülés utáni kiértékeléshez szükséges nyers adatok megőrzésére.

Kommunikáció

LoRa rádiómodul

A hosszú hatótávolságú rádiós kommunikációt a DL-RFM95-868M típusú LoRa rádiómodul biztosítja, amely SPI interfészen keresztül csatlakozik az ESP32-höz. A modul az európai ISM sávban (868 MHz) üzemel, és alacsony adatsebességű, nagy megbízhatóságú telemetria továbbítására alkalmas. A CanSat fedélzeti adó- és a földi vevőállomás oldalon azonos típusú DL-RFM95-868M modul kerül alkalmazásra, ami biztosítja a kompatibilitást és az egységes konfigurációt. A kommunikáció során alkalmazott LoRa paraméterek:

Frekvencia: 868 MHz

Spreading Factor (SF): 9

Sávszélesség (BW): 125 kHz

Kódolási ráta (CR): 4/5

CRC: engedélyezve

Ez a beállítás jó kompromisszumot biztosít a hatótávolság, az adatmegbízhatóság és az energiafogyasztás között, megfelelően a CanSat repülési és földi tesztelési követelményeinek. A rádió klasszikus point-to-point (P2P) LoRa üzemmódban működik, nem LoRaWAN hálózat részeként. Ebben a konfigurációban:

- a fedélzeti egység adó (TX) módban működik,
- a földi állomás vevő (RX) módban fogadja a csomagokat,
- nincs hálózati overhead, gateway vagy join procedura.

Ez az üzemmód kiszámítható késleltetést, egyszerű protokollt és maximális megbízhatóságot biztosít a rövid idejű repülés során. Indításkor a rendszer lehetőséget ad a frekvencia és az SF módosítására soros kapcsolaton keresztül, időkorlátos konfigurációs módban.

Ez a megoldás megkönnyíti a földi tesztelést, lehetővé teszi interferencia esetén az áthangolást, növeli az üzembiztonságot versenyhelyzetben.

Bluetooth kapcsolat

A vevőoldalon az ESP32 beépített Bluetooth funkció opcionálisan használható földi tesztek és fejlesztés során, például élő adatmegjelenítésre vagy konfigurációra, akár mobiltelefonon is.

Tápellátás és felügyelem

A rendszer egy egycellás Li-ion/LiPo akkumulátorról működik: Samsung INR18650-35E 3,7V, 3400mAh. Az akkufeszültség egy feszültségosztón keresztül az ESP32 ADC bemenetére van vezetve, így a pillanatnyi tápfeszültség és a becsült töltöttségi szint szoftveresen ellenőrizhető.

Összegzés

A bemutatott hardverarchitektúra egy **kompakt, moduláris és jól tesztelhető CanSat fedélzeti rendszer**, amely:

- minimális alkatrészszámmal,
- egységes táp- és adatarchitektúrával,
- repülésre optimalizált szenzorkészlettel valósítja meg a küldetéshez szükséges funkciókat.

A rendszer teljes felépítését és a csatlakozások részleteit a mellékelt **kapcsolási rajz** szemlélteti.

A konfiguráció célja a **megbízható adatátvitel**, nem a maximális sebesség.

Küldött adatok jellege

A LoRa kapcsolaton keresztül a rendszer:

- időbélyegzett szenzoradatokat,
- állapotinformációkat (akkufeszültség, GPS státusz),
- diagnosztikai adatokat küld rövid, tömörített csomagok formájában.

A csomagok kialakítása szöveges (ASCII) formátumú, ami:

- könnyen értelmezhető földi oldalon,
- hibakeresésre alkalmas,
- és egyszerűen naplózható.

Földi állomás (Ground Station)

Feladat és szerep

A földi állomás feladata a CanSat fedélzeti egység által küldött LoRa telemetria megbízható vétele, valamint az adatok valós idejű továbbítása a kiértékelő eszközök (PC, notebook) felé. A földi rendszer kialakítása szándékosan egyszerű és hordozható, hogy terepi körülmények között is gyorsan bevethető legyen.

Hardver felépítés

A földi állomás központi eleme szintén egy ESP32 mikrokontroller, amelyhez:

- ugyanolyan típusú LoRa rádiómodul csatlakozik, mint a fedélzeti egységen,
- a kommunikáció USB-n (soros COM port) és Bluetooth-on keresztül történik a felhasználói eszköz felé.

A rádió hardverazonossága biztosítja, hogy az adó és vevő oldal:

- azonos frekvenciatartományban,
- azonos modulációs paraméterekkel,
- kompatibilis időzítéssel működjön.

Kommunikációs interfészek a felhasználó felé

USB (soros COM kapcsolat)

Az ESP32 USB-n keresztül virtuális soros portként jelenik meg a számítógépen.

Ez a kapcsolat alkalmas:

- stabil adatfogadásra,
- hosszabb idejű naplózásra,
- fejlesztési és hibakeresési célokra.

Bluetooth kapcsolat

Az ESP32 beépített Bluetooth funkciója lehetővé teszi:

- vezeték nélküli adatmegjelenítést,
- mobil eszközről (pl. laptop, tablet) történő követést,
- gyors terepi beállításokat kábelcsatlakozás nélkül.

A két kapcsolat egymástól függetlenül használható, így a földi állomás rugalmasan illeszthető különböző teszt- és repülési szituációkhoz.

Működési elv

A földi állomás LoRa folyamatos vevő (RX) üzemmódban működik.

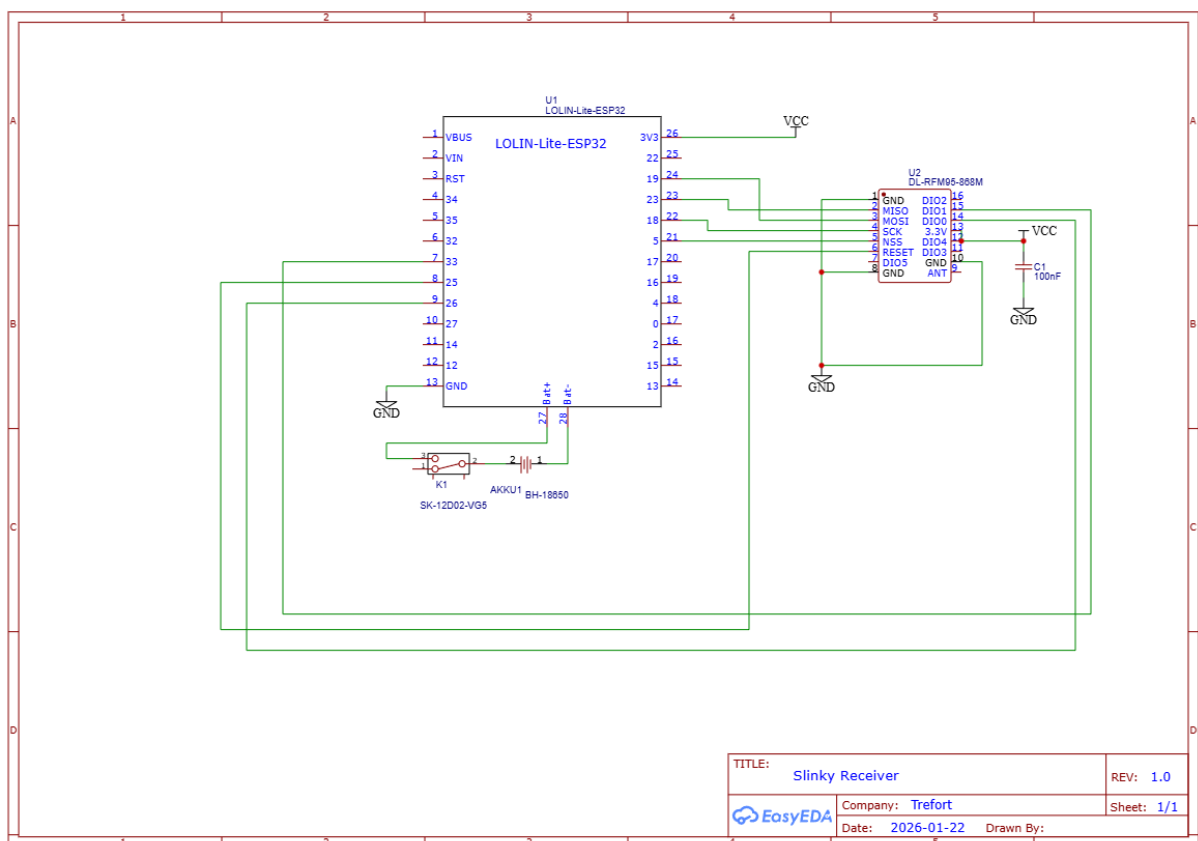
A beérkező telemetria csomagokat az ESP32:

1. fogadja és ellenőrzi,
2. változtatás nélkül továbbítja a soros és/vagy Bluetooth interfészen,
3. opcionálisan megjeleníti debug formátumban.

A feldolgozás szándékosan minimális, hogy:

- csökkenjen az adatvesztés kockázata,
- a rendszer determinisztikusan viselkedjen,
- a földi oldali szoftverek egyszerűek maradjanak.

Ez a kialakítás jól illeszkedik a CanSat küldetés rövid időtartamához és a terepi körülményekhez, miközben megfelelő rugalmasságot biztosít a fejlesztés és tesztelés során.



3. ábra: : A földi egység kapcsolási rajza