

# Leafy (Tamagotchi pentru plante)

## Introducere

**Leafy** este un sistem interactiv de monitorizare a sănătății plantelor, inspirat de Tamagotchi.

Dispozitivul citește în permanență doi parametri esențiali ai unei plante: umiditatea solului și nivelul de lumină; și le traduce într-un limbaj vizual pe care oricine îl înțelege imediat: un avatar animat pe un ecran OLED care zâmbeste când planta este fericită, plânge când îi este sete, i se văd doar ochii când stă la întuneric, și emite un sunet de atenționare dacă planta este neglijată mai mult timp.

Ideea a pornit de la o problemă simplă: majoritatea plantelor nu mor din lipsă de dragoste, ci din lipsă de atenție la momentul potrivit. În loc să verifici manual pământul din ghiveci sau să îți setezi remindere pe telefon, Leafy îți comunică singur starea plantei.

Proiectul poate fi util atât pentru persoanele care uită să ude plantele, cât și ca instrument educațional, transformând îngrijirea unei plante într-o experiență interactivă, de tip joc.

## Descriere generală

Proiectul este structurat în trei module principale care interacționează prin intermediul microcontrollerului ATmega328P de pe placa Xplained Mini.

### Modulul de intrare (senzori)

Doi senzori colectează date din mediul fizic al plantei: Senzor capacitiv de umiditate sol: trimite un semnal analogic proporțional cu cantitatea de apă din pământ, citit prin ADC0. Fotorezistență (LDR) + rezistență de 10kΩ: formează un divizor de tensiune al cărui punct median este citit prin ADC1, indicând intensitatea luminii ambiante. 1-2 butoane: permit interacțiunea cu meniul (de exemplu, schimbarea ecranului afișat sau resetarea unei alerte).

### Unitatea de procesare

ATmega328P (placa Xplained Mini) îndeplinește toate funcțiile de calcul:

- Citește senzorii analogici prin convertorul ADC intern (10 biți).
- Compară valorile citite cu praguri predefinite și determină „starea de spirit” a plantei (fericită, neutră, tristă, în alertă).
- Generează frame-urile de animație ale avatarului și le trimite ecranului prin protocolul SPI.
- Comandă buzzerul prin PWM atunci când unul dintre parametri coboară sub nivelul critic.

### Modulul de ieșire

- **Ecran GC9A01 (rotund, TFT SPI):** afișează avatarul Leafy în diferite stări (vesel, neutru, trist).
- **Buzzer piezo:** emite tonuri de atenționare prin PWM când planta are nevoie urgentă de apă sau lumină.

## Fluxul de date

Senzorii trimit semnale analogice → ADC-ul microcontrollerului le convertește în valori digitale → firmware-ul evaluează starea plantei pe baza pragurilor configurate → ecranul afișează animația corespunzătoare → dacă situația este critică, buzzerul emite o alertă sonoră.



# Hardware Design

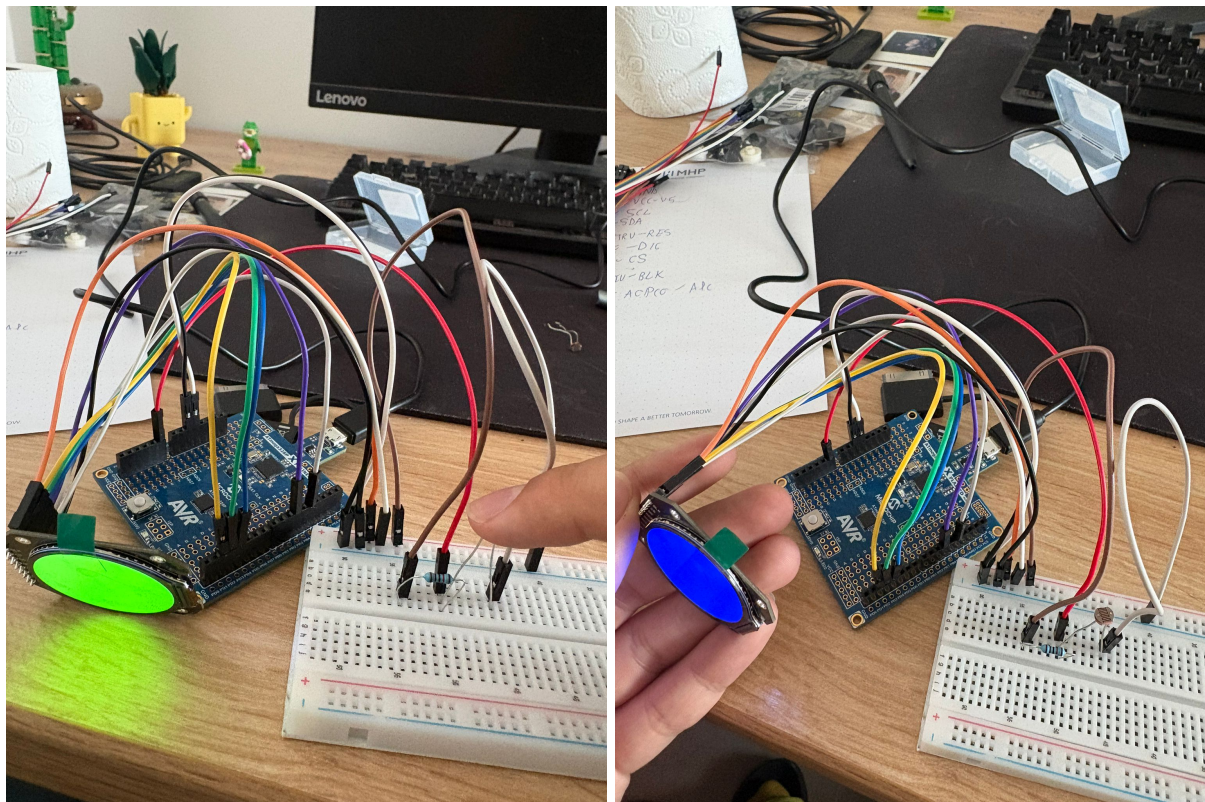
## Stadiul actual al implementării

În faza curentă, proiectul dispune de o infrastructură hardware funcțională, asamblată pe breadboard. S-a realizat cu succes integrarea ecranului grafic prin magistrala SPI și a circuitului de citire analogică pentru monitorizarea luminii ambientale prin fotorezistor.

Sistemul demonstrează interactivitate în timp real prin corelarea directă a mediului extern cu interfața vizuală:

- **Starea de întuneric:** când fotorezistorul este acoperit, ADC-ul înregistrează o scădere de tensiune și ecranul GC9A01 se colorează în verde.
- **Starea de lumină:** la expunerea fotorezistorului la o sursă puternică de lumină, pragul software este depășit și ecranul își schimbă culoarea în albastru.

Acest comportament confirmă calibrarea corectă a comunicației SPI (ecran) și a citirii ADC (senzor).



### Listă de componente

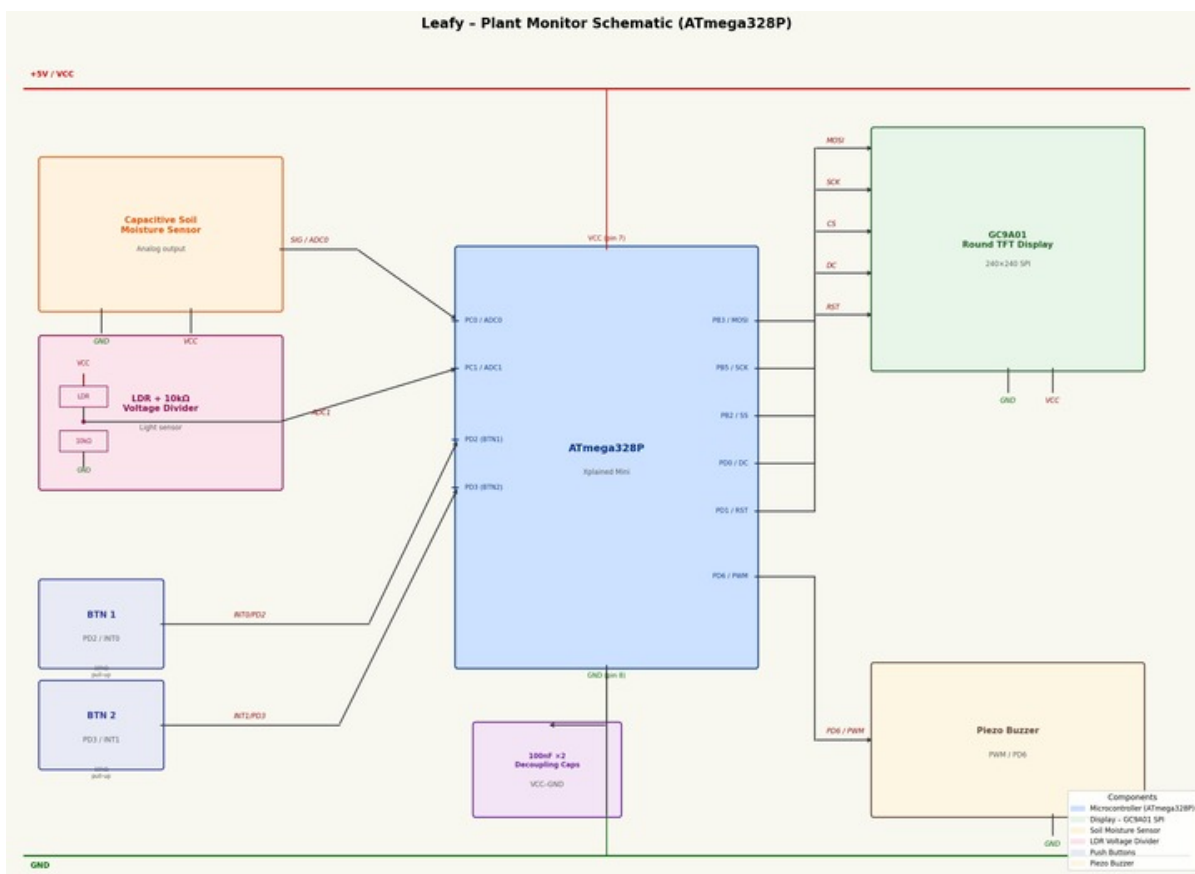
Componentă	Model / Specificație	Rolul în proiect
Microcontroler	ATmega328P (Xplained Mini)	Unitatea centrală de procesare: citește senzorii, rulează logica și comandă ecranul
Ecran grafic	GC9A01 (rotund, TFT SPI)	Afișează stările sistemului și avatarul plantei prin culori și grafică
Senzor lumină	Fotorezistor (LDR)	Monitorizează nivelul de lumină primit de plantă
Senzor umiditate	Senzor sol analogic	Măsoară nivelul de apă din pământ
Rezistență fixă	10 kΩ	Formează divizorul de tensiune cu LDR-ul
Buzzer piezo pasiv	—	Alerte sonore generate prin PWM
1-2 butoane (push-button)	—	Interacțiunea utilizatorului cu meniul
Breadboard + fire jumper	—	Prototipare flexibilă fără lipire

### Configurația și alocarea pinilor

Componentă	Pin componentă	Pin plăcuță (nativ)	Alias Arduino	Justificare

Ecran GC9A01	VCC	5V	5V	Alimentare din magistrala USB
	GND	GND	GND	Masă comună
	SCL (Clock)	PB5	Pin 13	Pin hardware SCK pentru sincronizarea SPI
	SDA (Data)	PB3	Pin 11	Pin hardware MOSI pentru transmiterea datelor grafice
	CS (Chip Select)	PD2	Pin 2	Activează/dezactivează comunicarea cu ecranul
	DC (Data/Cmd)	PD3	Pin 3	Diferențiază comenzile de configurare de datele de afișare
	RST (Reset)	PD4	Pin 4	Reset hardware la pornire
	BLK (Backlight)	PD5 sau 5V	Pin 5 / 5V	Control iluminare fundal
Fotorezistor	Pin semnal	PC0	A0	ADC0: citirea tensiunii din divizorul de tensiune
Senzor umiditate	AO (Analog Out)	PC1	A1	ADC1: citirea umidității solului
	VCC	5V Rail	5V	Alimentare senzor
	GND	GND Rail	GND	Masă senzor

### Schema electrică și explicații tehnice



Proiectul „Leafy” este structurat în trei subsisteme interdependente coordonate de ATmega328P, procesând și afișând datele.

### Subsistemul de alimentare

Tensiunea de 5V este preluată prin portul USB al plăcii Xplained Mini și distribuită pe șinele laterale ale breadboard-ului. Acest lucru asigură o referință de masă comună (GND) pentru toate

componentele și o tensiune stabilă în paralel, fără a suprasolicita pinii de semnal ai microcontrollerului.

### Subsistemul de senzorii analogici

Ambii senzori traduc mărimi fizice în semnale de tensiune interpretabile de convertorul ADC pe 10 biți al microcontrollerului:

- **Fotorezistorul (LDR)** este integrat într-un divizor de tensiune cu rezistența fixă de 10 kΩ. Tensiunea rezultată în nodul comun, trimisă către PC0 (A0), variază invers proporțional cu intensitatea luminii: la lumină, rezistența LDR-ului scade și tensiunea crește spre 5V (valori ADC aproape de 1023); la întuneric, rezistența crește și tensiunea scade spre 0V.
- **Senzorul de umiditate**, alimentat din aceeași magistrală de 5V, trimite un semnal analogic continuu către PC1 (A1). Prezența apei în sol modifică proprietățile electrice dintre lamelele senzorului, producând o variație de tensiune proporțională cu nivelul de umiditate.

### Subsistemul de afișare (comunicație SPI)

Ecranul GC9A01 este conectat în configurație Master-Slave prin protocolul SPI. Pinii hardware PB5 (SCK) și PB3 (MOSI) transmit datele grafice cu viteză mare, fără a bloca procesorul. Pinii de control PD2 (CS), PD3 (DC) și PD4 (RST) gestionează starea ecranului: CS activează comunicarea, DC diferențiază comenzile de configurare de datele de culoare, iar RST forțează reinițializarea cipului grafic la pornire.

### Logica de funcționare globală

Microcontrollerul compară valorile cu praguri predefinite și actualizează în timp real ce afișează ecranul prin magistrala SPI, oferind utilizatorului un răspuns vizual direct asupra stării plantei.

## Software Design

**Stadiul actual al implementării** Proiectul software este finalizat, optimizat și stabil în funcționare. Firmware-ul (dezvoltat în mediul PlatformIO cu framework-ul Arduino) rulează o arhitectură de tip „State Machine” (Mașină de Stări) asincronă și non-blocantă. Sistemul gestionează simultan achiziția datelor de la senzori, evaluarea stării de bine a plantei, semnalizarea acustică de urgență și randarea cadrelor grafice pe ecranul TFT. Sistemul de meniuri permite utilizatorului să comute interactiv între stările dinamice ale avatarului, afișarea statisticilor în procente și vizualizarea parametrilor ideale de referință.

**Scheletul proiectului și interacțiunea funcționalităților** Arhitectura se bazează pe o buclă infinită `loop()` guvernată în totalitate de funcția `millis()`, eliminând utilizarea funcțiilor blocante de tip `delay()`. Interacțiunea este împărțită în 5 module logice:

- **Citirea Senzorilor & Butoanelor:** Sistemul eșantionează starea mediului fizic și a butoanelor la un interval stabil de 200ms. Acest interval acționează și ca o barieră software anti-vibrație mecanică (debounce) realizată prin detecție de front (Edge Detection) pentru butoanele fizice.
- **Procesarea Datelor (Logica de Fundal):** Valorile brute analogice preluate sunt convertite în procente și verificate cu praguri logice predefinite pentru a clasifica starea plantei (Optimă, Atenție, Urgență, Noapte).

- **Sistemul de Alerte Sonore:** În funcție de starea calculată, buzzer-ul este declanșat prin semnale modulate în frecvență sau oprit, funcționând în fundal independent de interfața vizuală selectată.
- **Managerul de Meniu (UI):** Prin interacțiunea cu butoanele tactile, utilizatorul trimite comenzi rapide pentru a suprascrie modul de afișare activ, răsfoind prin ecranele de informații.
- **Motorul de Randare Grafică:** Extrage cadrele (frames) corespunzătoare stării curente și le trimite ecranului prin intermediul unui algoritm personalizat de upscaling spațial pe axele X și Y.

Validarea interacțiunilor s-a realizat în faza inițială prin mesaje de debug transmise pe conexiunea Serială la calculator, iar ulterior s-a validat direct prin comportamentul hardware al sistemului (schimbarea ecranelor și alarmele sonore).

**Motivarea alegerii bibliotecilor** Pentru a interacționa cu ecranul rotund, au fost integrate două biblioteci consacrate (3rd-party):

- **Adafruit\_GFX:** Oferă primitivele grafice esențiale (linii, forme geometrice, text, fonturi). A fost selectată deoarece reprezintă standardul industrial în sistemele embedded cu resurse restrânse, fiind extrem de stabilă și rapidă.
- **Adafruit\_GC9A01A:** Is driver-ul hardware dedicat exclusiv pentru controlerul ecranului TFT rotund de 1.28". Aceasta utilizează magistrala Hardware SPI a microcontrollerului la frecvențe înalte, asigurând o rată de reîmprospătare (refresh rate) optimă pentru a reda animații fluide fără întreruperi vizibile (tearing).

**Calibrarea elementelor de senzorică** Senzorii utilizați oferă valori brute în intervalul 0 - 1023 prin convertorul Analog-Digital (ADC) pe 10 biți al plăcii. Pentru a asigura o interfață grafică intuitivă (procente 0-100%), calibrarea s-a realizat prin determinarea experimentală a extremelor fizice:

- **Senzorul de Umiditate:** A fost calibrat în aer uscat complet (citind valoarea brută 1013) și scufundat direct în apă (citind valoarea 300).
- **Senzorul de Lumină:** A fost calibrat într-o cameră complet întunecată (valoarea 920) și expus direct la o sursă de blitz/lumină puternică (valoarea 90).

Aceste limite au fost introduse în funcția de mapare `map()`. Pentru a asigura integritatea datelor împotriva fluctuațiilor externe (citiri în afara plajei calibrate), rezultatul matematic a fost securizat prin funcția `constrain()`.

### Optimizări realizate (Software & Hardware)

- **Optimizarea Memoriei (PROGMEM & Upscaling Algorithm):** ATmega328P dispune de o memory Flash limitată la 32 KB. Un singur cadru grafic la rezoluția nativă a ecranului (240×240 px, 16-bit color) ar fi ocupat 115 KB, depășind complet capacitatea plăcii. Soluția optimă a fost generarea animațiilor ca Pixel Art la rezoluția redusă de 32×32 pixeli, matricele de culori fiind stocate strict în memoria Flash prin directiva **PROGMEM**. La execuție, funcția personalizată de upscaling mărește imaginea matematic ( $SCALE = 6$ ), afișând un sprite centrat de 192×192 pixeli. Astfel, toate cele 4 animații complete consumă doar ~8 KB din Flash.
- **Optimizarea Randării (Anti-Flicker Logic):** Ecranele SPI suferă de efectul de „pâlpâit” (flickering) dacă sunt șterse complet înainte de fiecare cadru. Ecranul este acum curățat doar la tranzițiile majore între modurile de vizualizare (State Tracking). Suplimentar, la actualizarea statisticilor (procentelor), s-a utilizat suprascrierea directă a fundalului de text (`tft.setTextColor(Foreground, Background)`), asigurând un afișaj perfect fluid.

**Utilizarea funcționalităților din laborator** Proiectul integrează activ multiple concepte studiate în cadrul lucrărilor de laborator:

- **Convertorul Analog-Digital (ADC):** Esențial pentru eșantionarea senzorilor (Pinii A0, A1), transformând tensiunile electrice (0-5V) într-un format digital procesabil.
- **Protocolul de Comunicație SPI (Serial Peripheral Interface):** S-a utilizat perifericul hardware SPI nativ studiat în laborator (pinii PB3 - MOSI, PB5 - SCK) pentru a asigura transferul rapid și sincron al matricelor de pixeli către ecran.
- **Modulele de Timers și Generarea PWM (Pulse Width Modulation):** Utilizat pentru controlul buzzer-ului acustic. Prin utilizarea funcțiilor `tone()` / `noTone()` conectate la pinul PD6, sistemul controlează timerele hardware ale microcontrolerului pentru a genera semnale PWM periodice la frecvența stabilă de 1000 Hz, controlând direct activarea sunetului.
- **GPIO și Rezistențele Pull-Up Interne:** Configurarea butoanelor a folosit flag-ul `INPUT_PULLUP`, tehnică ce previne stările flotante logice (floating states) fără a necesita rezistențe fizice adiționale pe breadboard.

**Noutatea proiectului** Elementul de originalitate al proiectului „Leafy” rezidă în abordarea interfeței Om-Mașină (HMI). Majoritatea soluțiilor embedded de monitorizare a plantelor se limitează la afișarea textului brut (pe display-uri LCD 16×2) și declanșarea unor alarme acustice deranjante. Leafy transformă datele tehnice reci într-o experiență interactivă (tip „tamagotchi”) - un avatar digital care creează o legătură empatică cu utilizatorul, folosind geometria unui ecran rotund pentru a accentua estetica organică a personajului.

## Rezultate Obținute

Sistemul răspunde cu mare acuratețe la stimulii externi. Timpii de răspuns pentru interfața grafică se încadrează în intervalul optim de utilizare, tranziția dintre meniuri este instantanee grație sistemului software de debounce, iar alarmele critice sunt evaluate și declanșate constant la atingerea pragurilor limită.

S-a obținut un dispozitiv robust, care îmbină corect achiziția de semnale analogice din mediul fizic cu procesarea digitală decizională și redarea grafică optimizată prin protocolul de viteză SPI.

<https://youtube.com/shorts/pMJAiXsaZOc?feature=share>

## Concluzii

Proiectul și-a atins toate obiectivele tehnice propuse, integrând cu succes concepte de electronică analogică (divizarea și citirea tensiunilor), protocole de comunicare digitală de mare viteză și tehnici avansate de programare încastrată.

Faza de dezvoltare a presupus depășirea unor constrângeri hardware severe (limitele de tensionare la alimentarea senzorilor și capacitatea restrânsă de memorie Flash a microcontrolerului). Rezolvarea acestora a demonstrat importanța cunoașterii aprofundate a specificațiilor electrice și necesitatea optimizărilor algoritmice. În forma sa finală, „Leafy” dovedește fezabilitatea și plusvaloarea integrării interfețelor emoționale interactive în dezvoltarea sistemelor IoT și dispozitivelor embedded.

## Download

## Jurnal

## Bibliografie/Resurse

[Export to PDF](#)

From:

<http://ocw.cs.pub.ro/courses/> - **CS Open CourseWare**

Permanent link:

[http://ocw.cs.pub.ro/courses/pm/prj2026/atoader/darian\\_petre.duinea](http://ocw.cs.pub.ro/courses/pm/prj2026/atoader/darian_petre.duinea)



Last update: **2026/05/27 12:16**