

Smart Irrigation System: IoT evaluation based on Markov Chain models

MIRUNA-ELENA TALMACEL
UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICA BUCUREȘTI
Facultatea: Inginerie Electrică
Specializarea: Inginerie Electrică
Email: miruna.talmacel@stud.electro.upb.ro

ALEX-IONUȚ MARINESCU
UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICA BUCUREȘTI
Facultatea de: Inginerie Electrică
Specializarea: Inginerie Electrică
Email: alex.marinescu@stud.electro.upb.ro

LAURENȚIU-ALEXANDRU ZAHARIA
UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICA BUCUREȘTI
Facultatea de: Inginerie Electrică
Specializarea: Inginerie Electrică
Email: laurentiu.zaharia@stud.electro.upb.ro

Abstract

The climate change made it necessary to develop artificial growth conditions for different type of plants. Using a soil moisture sensor and a pump a circuit can be designed which is able to automatically detect when the soil is too dry, add water and stop when the soil reaches the right moisture level. The Markov Chain models can be implemented in software (e.g., Matlab and Simulink) to calculate probability of future weather and control when the pump will water based on the necessity of a variety of plants. The information can be processed on an Arduino Nano 33 and visualized on a Arduino IoT Cloud.

Keywords: schimbări climatice, senzori, Lanțurile Markov, Arduino, IoT



Introducere

Creșterea neașteptată a populației planetei a condus la o nevoie ridicată de energie, nevoie ce are ca rezultat o creștere a gazelor cu efect de seră. Din cauza acestui aspect, stratul de ozon s-a subțiat și ecosistemul global s-a schimbat. Subțierea stratului de ozon a condus la o creștere exponențială a temperaturii globale, creștere la care plantele nu se pot adapta. În această situație, plantele trebuie crescute în condiții artificiale. Una dintre metodele cele mai eficiente este folosirea senzorilor de temperatură și umiditate. Abordarea noastră își propune contruirea unui sistem de irigare automat bazat pe un senzor de umiditate și unul de temperatură și un ecran OLED, toate fiind conectate la o placă Arduino Nano 33 IoT.

Secțiune preliminară

1.Efectul de seră. Cauze și efecte

1.1. Creșterea temperaturii globale

Din cauza efectului de seră, temperatura globală a crescut alarmant în ultimii 50 ani comparativ cu acum 150 ani. În Fig.1 sunt prezentate graficele creșterilor de temperatură până în anul 2100, creșteri bazate pe 5 scenarii, în funcție de cantitatea de CO₂. Cel mai pozitiv scenariu, cel în care începând cu 2050 cantitatea

de dioxid de carbon stagnează, se observă o ușoară, dar importantă, scădere a temperaturii până în 2100. Iar în cel mai pesimist caz, caz în care cantitatea de CO₂ va crește cu aceeași viteză ca cea din prezent se speculează că temperatura va crește cu 4°C comparativ cu temperatura globală actuală [1].

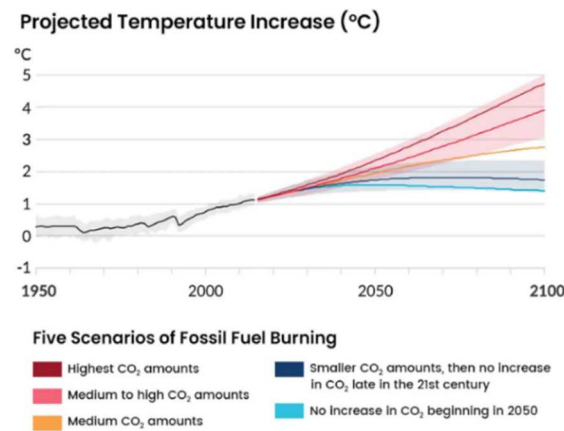


Fig. 1. Creșterea de temperaturii până în 2100 în funcție de fiecare scenariu. Autor: [2]

1.2. Analiza temperaturilor în Europa în parcursul a 10 ani

În Fig.2, respectiv Fig.3, se disting graficele temperaturilor cele mai scăzute și cele mai ridicate din Europa din ultimii 10 ani. Temperaturile extrem de scăzute au fost atinse în zona estică a Europei, preponderent în Rusia, iar în cazul temperaturilor ridicate, sudul continentului a fost cel mai afectat, amintind aici țări ca Italia și Grecia. Aceste fluctuații considerabile de temperaturi în doar 2 ani sunt efectul schimbărilor climatice produse de efectul de seră.

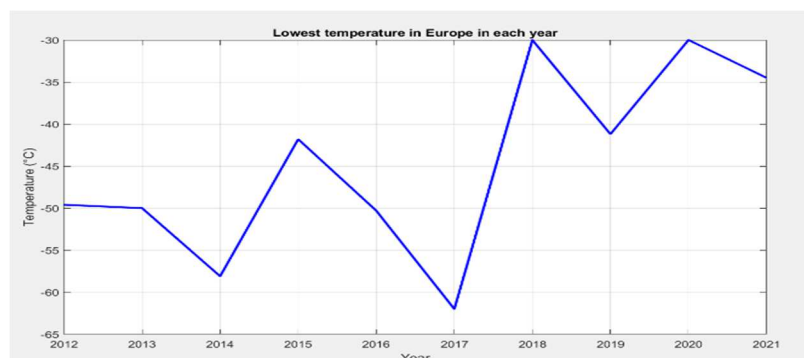


Fig. 2. Cele mai scăzute temperaturi în Europa în funcție de an. Autor: Tălmăcel Miruna-Elena

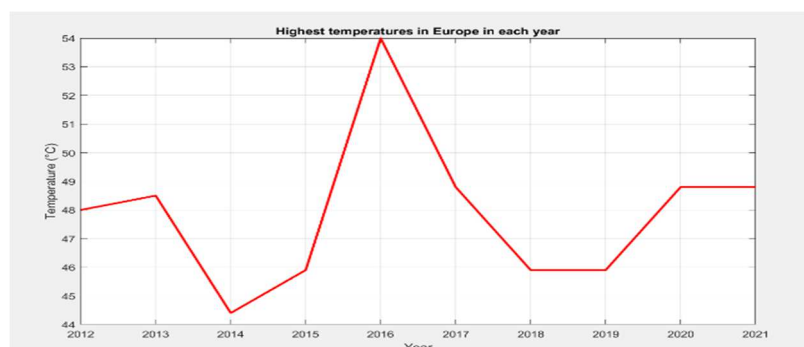


Fig. 3. Cele mai ridicate temperaturi în Europa în funcție de an. Autor: Miruna-Elena Tălmăcel

1.3. Efectul schimbărilor climatice asupra plantelor

Creșterea temperaturii la nivel global a disturbat mai multe domenii economice, cel mai afectat fiind agricultura. Din cauza incapacității plantelor de a se adapta schimbărilor climatice atât de bruște, cultivarea tradițională devine aproape imposibilă. Adăugându-se nevoia în continuă creștere de hrană pentru populație, trebuie optate metode eficiente ce se folosesc de invențiile actuale.

2. Sensorii folosiți pentru construirea instalației

2.1 Sensor de măsurare a umidității solului de seră.

Senzorul de măsurare a umidității solului ales pentru acest proiect folosește detecția capacitivă pentru a detecta umiditatea solului. Înainte de folosire, senzorul trebuie calibrat. Tehnicile de măsurare sunt diverse, cum ar fi: gravimetrică, electromagnetică, nucleară, tensiometrică și higrometrică [2]. Metoda de calibrare folosită în proiect este cea gravimetrică. Senzorul folosește contrastul dielectric dintre apă și sol, solul uscat având o permitivitate relativă cuprinsă între 2 și 6, comparativ cu apa care are o valoare de 80 [3].

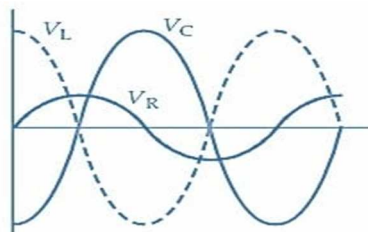


Fig.4. Formele de undă ale V_L , V_C și V_R la rezonanță [4]

Componenta electrică, în acest caz condensatorul, este compusă din 3 elemente: o placă pozitivă, o placă negativă și un dielectric poziționat între cele 2 plăci. Senzorul nu măsoară efectiv nivelul de umiditate, ci cantitatea de ioni dizolvați, fiindcă permitivitatea crescută asigură o mai bună circulație a electricității, iar în consecință capacitatea va crește, rezultând într-o valoare mai mică a rezonanței ce se poate calcula cu formula:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

unde F =frecvența, L =inductanța, C =capacitatea condensatorului.

unde V_R = tensiunea la bornele rezistorului, V_L = tensiunea la bornele bobinei, V_C = tensiunea la bornele condensatorului.

Pentru a face o măsurare corectă a umidității solului este nevoie de densitatea solului, constanta dielectrică a solului și de constanta dielectrică a apei. Pentru a afla aceste valori se va măsura solul complet uscat și apa pură. Cantitatea gravimetrică de apă poate fi calculată cu formula:

$$= \frac{m_w}{m_d} = \frac{m_s - m_d}{m_d} \quad (2)$$

unde m_w =masa de apă, m_d =masa totală, m_s =masa de sol umed.

Cantitatea volumetrică de apă poate fi corelată cu cantitatea gravimetrică de apă folosind densitatea și masa, utilizând formula:

$$\theta_g = \theta_g = \frac{\rho_{s,d}}{\rho_w} \tag{3}$$

unde ρ_w = densitatea apei , $\rho_{d,s}$ = masa solului uscat împărțit la unitatea de volum.

În continuare se poate demonstra că cantitatea volumetrică de apă măsurată depinde de frecvența de răspuns a senzorului.

Capacitatea (C) a senzorului ce constă într-o pereche de electrozi introduși în sol este în strânsă legătură cu constanta dielectricului prin formula:

$$C = \alpha \epsilon_0 k \tag{4}$$

unde α = constanta geometrică a electrodului, ϵ_0 = permitivitatea vidului și k = constanta dielectricului.

Se mai cunoaște și că intensitatea curentului alternant poate fi calculată cu formula următoare, formulă ce se folosește de impedanța condensatorului:

$$I = j2\pi F C v \tag{5}$$

unde I = valoarea mediei pătratice a curentului electric și v = valoarea mediei pătratice a tensiunii de alimentare

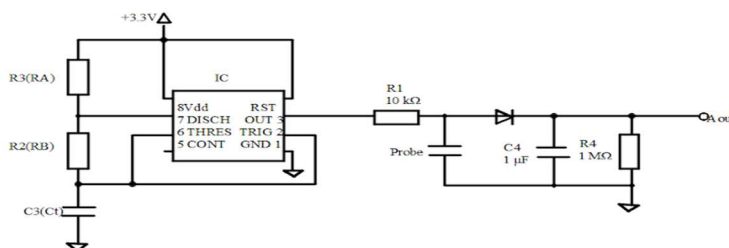


Fig. 4. Schema senzorului de umiditate.
 Autor: Miruna-Elena Tălmăcel [5]

În proiectul prezentat este utilizată o placă Arduino pentru a primi informații de la senzor pe parcursul unei perioade de timp, pe care îl împărțim în diviziuni. Pentru fiecare diviziune umiditatea pământului este afișată în procente, cu valori între 0% (ce înseamnă complet uscat) și 100% (ce înseamnă complet ud). Scopul reținerii informațiilor sub formă de procente este afișarea acestora pe ecranul OLED pentru a fi interpretate ușor de utilizator, dar și instruirea algoritmului lanțurilor lui Markov pentru ca acesta să poată estima dacă planta studiată va supraviețui o valoare estimativă de timp în funcție de datele colectate.

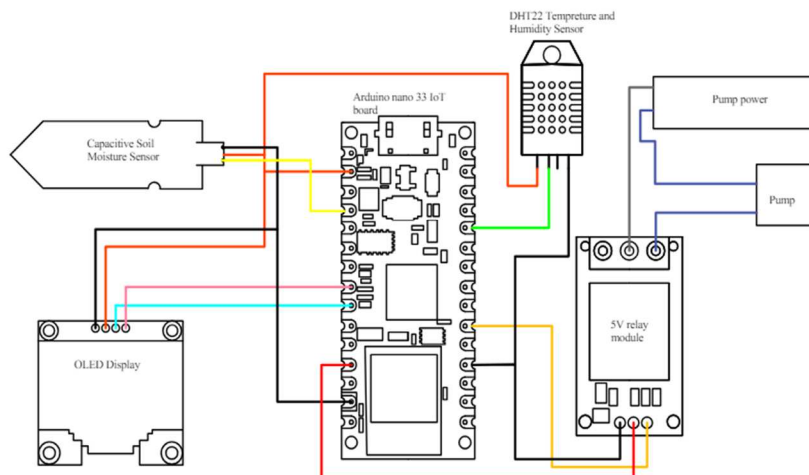


Fig. 5. Circuitul Arduino.
 Autor: Miruna-Elena Tălmăcel [6]

2.2. Senzor DHT22

Senzorul DHT22 măsoară atât temperatura, cât și gradul de umiditate al aerului. Senzorul funcționează utilizând un senzor capacitiv de umiditate și un termistor pentru măsurarea umidității aerului. Deși umiditatea și temperatura sunt parametri importanți de monitorizat, în acest proiect senzorul DHT22 va fi utilizat doar pentru monitorizarea temperaturii. Termistorul este un semiconductor ce utilizează dependența rezistenței electrice de temperatură. Senzorul este construit dintr-un material semiconductor, cum ar fi oxid de mangan, oxid de curpu și oxid de zinc [7].

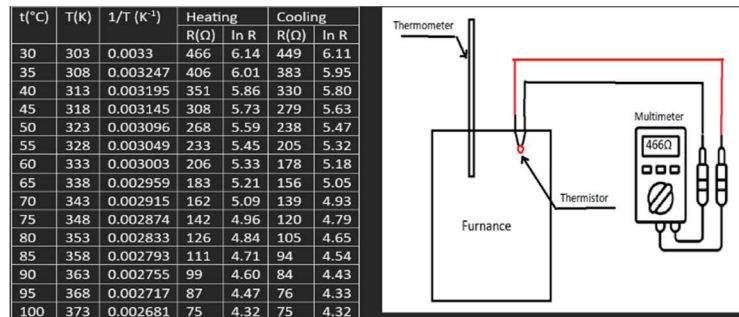


Fig. 5. Termistorul. Instalație experimentală [7]

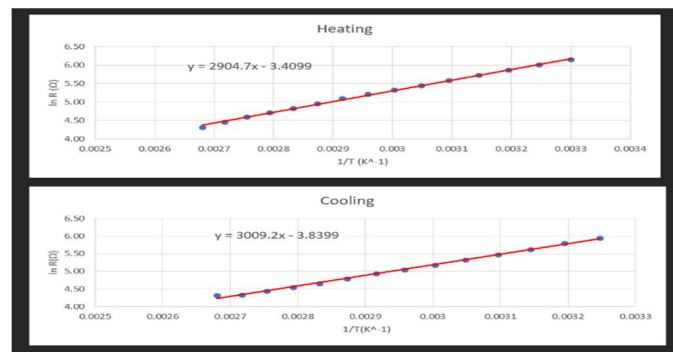


Fig. 6. Grafic Incălzire și răcire.
Autor: Alex-Ionuț Marinescu

3. Lanțul lui Markov

Pentru fiecare plantă conectată la circuitul Arduino avem în vedere caracteristicile sale pentru a putea aproxima valorile necesare de temperatură și umiditate astfel încât planta să reziste pe termen lung. Putem încadra aceste valori într-un interval optim, o „zonă sigură” care variază în funcție de tipul de plantă ales. În mod intuitiv, o plantă ce crește într-un climat semiarid va avea un interval de temperatură optim mult mai restrâns. Similar, plantele care se dezvoltă într-un mediu cu nivele ridicate de umiditate, cum ar fi orhideele sau plantele păianjen, vor avea o zonă sigură a umidității mult mai specifică ce nu va corespunde întotdeauna cu parametrii mediului simulat, situație în care ar trebui intervenit suplimentar pentru a le menține în viață. Așadar, scopul nostru este să determinăm ce tip de plante ar putea supraviețui în diferite habitate, precum Câmpia Bărăganului, și dacă este nevoie, în ce măsură ar trebui intervenit folosind pompele de apă.

În cadrul proiectului, sunt colectate valori ale umidității și temperaturii timp de 70 de zile. Acest număr de zile poate fi redus câtă vreme se păstrează un număr mai mare sau egal de diviziuni. Au fost alese șapte diviziuni pentru simplitate. În funcție de procentajele adunate la fiecare 10 zile, planta se va afla înăuntrul sau în afara „zonei sigure”. Apoi, cu aceste procentaje încadrate, se calculează probabilitățile aferente și se construiește lanțul Markov cu două stări posibile, notate sugestiv cu Y/N ("yes" pentru când procentajele aparțin intervalului optim și "no" în rest).

Folosirea lanțurilor Markov garantează faptul că probabilitățile sunt independente de evenimentele recente, întrucât cel mai recent eveniment afectează ce se întâmplă mai departe. Matematic, se poate formula astfel:

$$\mathbb{P}(X_{k+1} = s | X_k = s_k, X_{k-1} = s_{k-1}, \dots, \pi = s_0) = \mathbb{P}(X_{k+1} = s | X_k = s_k) \tag{6}$$

pentru toți $k = 1, 2, 3, \dots$ corespunzători stărilor s_0, s_1, \dots, s_k, s . Folosind aceste notații, X_k reprezintă starea din lanțul Markov la momentul de timp k , cu valoarea corespunzătoare s_k . Un set particular de valori $X_0 = s_0, X_1 = s_1, X_2 = s_2, X_3 = s_3, \dots$ formează o traiectorie. Efectuarea unui „pas” în lanțul Markov se realizează

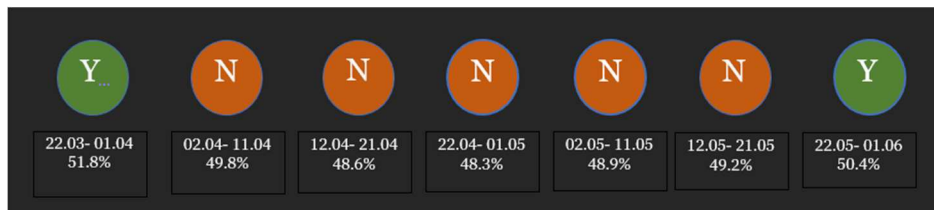


Fig.7. Soil Water Index (SWI) from MetOp/Ascat, depth 0-100 cm, in Baragan Plain (2007-2019) Autor:[8]

100 cm	Synthesis (10 days)	Year													
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
March	22.03-01.04	35.3	32.5	40.7	42.6	44.3	34.9	47.9	42.6	59.5	51.8	51.9	60.3	41.2	
	02.04-11.04	30.3	32.1	37.3	41.7	42.6	33.1	46.8	42.2	57.1	49.8	49.4	56.6	37.4	
April	12.04-21.04	27.8	30.9	33.8	40.5	40.6	31.8	43.5	42.0	53.8	48.6	49.3	53.0	36.7	
	22.04-01.05	25.2	30.8	31.6	37.2	38.5	30.5	40.2	40.3	50.0	48.3	46.8	49.0	34.9	
May	02.05-11.05	22.3	29.2	29.2	36.7	38.4	30.3	37.8	40.2	47.0	48.9	44.5	47.1	33.1	
	12.05-21.05	21.7	28.9	27.8	37.2	36.8	33.0	38.6	41.1	44.7	49.2	43.5	46.3	32.4	
	22.05-01.06	21.5	29.5	28.2	38.9	36.9	35.5	40.4	43.5	44.0	50.4	44.6	46.1	31.9	
June	02.06-11.06	20.7	30.0	27.9	39.3	39.0	36.2	42.0	45.1	44.2	51.4	47.1	45.7	33.8	
	12.06-21.06	18.8	30.1	27.5	41.0	40.4	37.1	42.4	46.4	45.0	51.4	49.3	45.1	36.4	
	22.06-01.07	17.0	29.5	28.8	43.2	42.3	37.9	43.6	47.4	44.9	50.2	50.1	46.5	38.4	
July	02.07-11.07	15.7	28.8	30.6	45.4	42.9	37.8	44.4	47.6	44.6	48.7	50.0	47.6	38.9	
	12.07-21.07	14.0	28.2	30.7	46.6	43.3	37.2	44.4	47.7	43.7	47.1	49.8	48.3	39.2	
	22.07-01.08	14.4	27.0	30.6	46.8	43.4	35.7	44.3	47.5	42.7	46.2	50.3	49.2	39.3	
August	02.08-11.08	16.0	25.1	29.0	46.0	43.9	35.5	42.8	46.4	41.4	45.4	49.3	48.3	39.4	
	12.08-21.08	15.8	22.6	26.9	43.6	42.9	32.9	41.0	45.0	43.9	44.7	47.7	46.5	38.2	
	22.08-01.09	17.4	20.0	26.3	41.7	40.6	30.9	40.8	43.3	40.3	43.1	45.8	44.2	35.7	
September	02.09-11.09	18.4	19.3	27.2	39.6	37.9	28.4	40.6	41.6	39.5	40.8	43.1	42.2	32.8	
	12.09-21.09	18.3	20.2	25.6	37.1	35.7	29.4	39.8	40.8	38.8	41.4	41.0	40.2	30.4	
	22.09-01.10	17.7	19.5	25.5	36.7	33.4	28.7	39.6	40.6	40.4	40.6	39.2	38.0	28.4	

Fig.8. Valorile Lanțurilor Markov. Autor: Laurențiu-Alexandru Zaharia

În exemplul ales, se va studia unui singur lanț Markov, cel pentru umiditate, principiul fiind același și pentru cel de temperatură. Astfel, au fost adunate nivelele de umiditate colectate în anul 2016 din Câmpia Bărăganului, într-un studiu realizat de Administrația Națională de Meteorologie din România și laboratoarele GIS, în parteneriat cu JNCC prin Copernicus User Uptake [8]. S-a ales studiul evoluția porumbului, ce are ca interval valori ale umidității cuprinse între 50 și 80% [9], deși capătul superior are șanse mici de a fi atins. Pe parcursul celor 70 de zile s-au înregistrat următoarele valori:

Cum a fost specificat anterior, instanțele favorabile vor fi notate cu Y și cele nefavorabile cu N. Astfel:

- Șansele ca după Y să urmeze direct un N sunt de 1/1, deci 1 (100%).
- Șansele ca după N să urmeze direct un Y sunt de 1/5, deci 0.2 (20%).
- Șansele ca după N să urmeze direct un N sunt de 4/5, deci 0.8 (80%).
- Șansele ca după Y să urmeze direct un Y sunt de 0/1, deci 0 (0%).

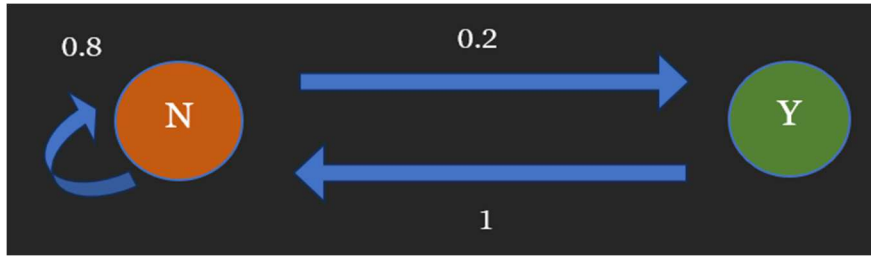


Fig.9. Diagrama de tranziție. Autor: Laurențiu-Alexandru Zaharia

Lanțurile Markov se reprezintă grafic printr-o diagramă de tranziție, în care stările sistemului sunt încadrate în chenare de diverse forme, iar pe săgețile de sens unic sunt scrise probabilitățile calculate. În cazul de față, diagrama arată în felul următor.

Pentru a putea determina evoluția porumbului după un multiplu de 70 de zile, deci după un multiplu de „pași” în lanțul Markov, se folosesc noțiunile de algebră liniară de înmulțire a matricelor cu vectori, determinarea vectorilor și valorilor proprii ale unei matrice și diagonalizarea acestuia cu scopul scrierii facile a puterilor sale. Matricea respectivă asociată unei diagrame de tranziție dintr-un lanț Markov se numește matrice de tranziție, o matrice pătratică cu dimensiune dată de numărul stărilor (pentru lanțul studiat, o matrice 2 x 2) cu următoarele proprietăți:

- a) COLOANELE reprezintă ACUM (starea actuală), DE LA starea X_k ;
- b) RÂNDURILE reprezintă APOI (peste un „pas”), CĂTRE starea X_{k+1} ;
- c) PERECHEA (i, j) este probabilitatea ca APOI = i să se întâmple, dată de faptul că ACUM = j . Practic, probabilitatea de a trece DE LA starea j CĂTRE starea i .

$$p_{ij} = \mathbb{P}(X_{k+1} = i | X_k = j) \tag{7}$$

- d) SUMA elementelor de pe coloană este întotdeauna egală cu 1 (sumă de probabilități ale unui singur eveniment)

În cazul prezentat, matricea de tranziție este $P = \begin{pmatrix} 0.8 & 1 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix}$, prescurtând probabilitățile expuse anterior. Starea preliminară a sistemului, notată generic cu X_0 este scrisă printr-un vector

$$X_0 \sim \pi = \begin{pmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \vdots \\ \pi_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbb{P}(X_0 = 1) \\ \mathbb{P}(X_0 = 2) \\ \vdots \\ \mathbb{P}(X_0 = n) \end{pmatrix} \tag{8}$$

unde n reprezintă numărul stărilor, numit vectorul de distribuție al probabilităților. Acesta arată care sunt șansele de a ne afla într-o stare oarecare din cele N stări ale lanțului Markov înainte de a cunoaște probabilitățile din matricea de tranziție. Valoarea acestuia este independentă de datele colectate de senzori, deci se poate lua valoarea $X_0 = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix}$, întrucât sunt șanse egale de a ne afla sau nu în acea „zonă sigură”. Pentru a afla probabilitățile specifice stării X_1 , adică stării inițiale, se înmulțește vectorul de distribuție al probabilităților $X_0 \sim \pi$ cu matricea de tranziție P :

$$= PX_0 = P\pi \tag{9}$$

Exemplificând:

$$= \begin{pmatrix} 0.8 & 1 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Pentru a afla matricea de tranziție pentru un multiplu k de 70 de zile față de măsurătorile inițiale folosim următoarea formulă generalizată:

$$\mathbb{P}(X_k = i | X_0 = j) = \mathbb{P}(X_{n+k} = i | X_n = j) = (P^k)_{ij}, \text{ pentru orice } n \quad (11)$$

Fie $\{X_0, X_1, X_2, \dots\}$ un lanț Markov cu o matrice de tranziție de dimensiune $N \times N$. Dacă distribuția probabilităților asociată stării X_0 este scrisă sub forma unui vector de lungime $1 \times N$, $\boldsymbol{\pi}$, atunci distribuția probabilităților pentru orice stare X_k este dată tot de un vector tip coloană ce are expresia $P^k \boldsymbol{\pi}$. Cu alte cuvinte:

$$X_0 \sim \boldsymbol{\pi} X_k \sim P^k \boldsymbol{\pi} \quad (12)$$

Mai mult, distribuția probabilităților în starea X_k este $X_k \sim P^k \boldsymbol{\pi}$, iar distribuția probabilităților pentru următoarea stare, X_{k+1} , este $X_{k+1} \sim P^{k+1} \boldsymbol{\pi}$. Se poate concluziona că a face un "pas" în lanțul Markov corespunde înmulțirii la stânga cu matricea de tranziție. Utilizarea acestei metode pentru a determina distribuția probabilităților corespunzătoare fiecărei stări în parte conduce în mod natural la următoarea problemă: cum vor evolua distribuțiile probabilităților atunci când t atinge valori foarte mari. Mai precis, trebuie calculate distribuțiile probabilităților în funcție de puterile matricei P și dacă este posibil, atingerea unei stări de echilibru. Pentru aceasta, se studiază următoarea ecuație:

$$X_k = P^k X_0 \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \mathbb{P}(X_k = N) \\ \mathbb{P}(X_k = Y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8 & 1 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix}^k \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Pentru a aduce ecuația la o formă mai simplă, trebuie diagonalizată matricea P . Pentru aceasta se calculează vectorii și valorile proprii ale lui P . Polinomul caracteristic este:

$$P_p(\lambda) = \det(P - \lambda I_2) = \begin{vmatrix} 0.8 - \lambda & 1 \\ 0.2 & -\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 - 0.8\lambda - 0.2 \quad (14)$$

Valorile proprii sunt $\lambda_1 = 1$ și $\lambda_2 = -0.2$. Vectorul propriu corespunzător lui $\lambda_1 = 1$ este soluția ecuației:

$$\begin{pmatrix} -0.2 & 1 \\ 0.2 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Se obține sistemul:

$$\begin{cases} -0.2v_1 + v_2 = 0 \\ 0.2v_1 - v_2 = 0 \end{cases} \quad (16)$$

cu soluția $u_1 = \begin{pmatrix} 5\alpha \\ \alpha \end{pmatrix}$. Se alege $\alpha = 1$ și rezultă $u_1 = \begin{pmatrix} 5 \\ 1 \end{pmatrix}$.

Apoi, pentru $\lambda_2 = -0.2$, rezultă că:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0.2 & 0.2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_3 \\ v_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (17)$$

respectiv sistemul:

$$\begin{cases} v_3 + v_4 = 0 \\ 0.2v_3 + 0.2v_4 = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Soluția sistemului este de forma $u_2 = \begin{pmatrix} -\alpha \\ \alpha \end{pmatrix}$ și alegând $\alpha = 1$ găsim $u_2 = \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \end{pmatrix}$.

Se obține matricea diagonală:

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -0.2 \end{pmatrix} \quad (19)$$

respectiv matricea inversabilă T

$$T = \begin{pmatrix} 5 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (20)$$

care are inversa

$$T^{-1} = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \quad (21)$$

Prin urmare, $P = TDT^{-1}$, ceea ce conduce la

$$\begin{aligned} P^k &= T D^k T^{-1} = \begin{pmatrix} 5 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} (1)^k & 0 \\ 0 & (-0.2)^k \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} = \frac{1}{6} \cdot \begin{pmatrix} 5 & -(-0.2)^k \\ 1 & (-0.2)^k \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \quad (22) \\ &= \frac{1}{6} \cdot \begin{pmatrix} 5 + (-0.2)^k & 5 - 5 \cdot (-0.2)^k \\ 1 - (-0.2)^k & 1 + 5 \cdot (-0.2)^k \end{pmatrix} = \frac{1}{6} \cdot \begin{pmatrix} 5 & 5 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & -5 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \cdot \frac{(-0.2)^k}{6} \end{aligned}$$

Ecuatia 2 devine:

$$\begin{pmatrix} \mathbb{P}(X_k = N) \\ \mathbb{P}(X_k = Y) \end{pmatrix} = \left[\frac{1}{6} \cdot \begin{pmatrix} 5 & 5 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & -5 \\ -1 & 5 \end{pmatrix} \cdot \frac{(-0.2)^k}{6} \right] \cdot \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{pmatrix} \quad (23)$$

Această formulă servește la calcularea vectorului de distribuție al probabilităților pentru fiecare multiplu k de 70 de zile. Dacă probabilitatea din starea X_k depășește o valoare admisibilă, corespunzătoare unei valori insuficiente sau în exces de umiditate selectată de utilizator, va trebui intervenit folosind pompele de apă.

Pe măsură ce perioada de observare crește, k va primi valori din ce în ce mai mari, deci probabilitățile p_{ij} ale matricei P^k vor fi din ce în ce mai apropiate. Dacă se reduce numărul de zile dintre diviziuni, astfel încât o diviziune să îi corespundă o singură zi, păstrând aceleași valori și se urmărește evoluția sistemului pe parcursul unor luni sau chiar ani, ar coincide cu scrierea $k \rightarrow \infty$. Când $k \rightarrow \infty$, partea din dreapta a sumei tinde către 0, căci $\lim_{k \rightarrow \infty} (-0.2)^k = 0$. Astfel lanțul Markov a atins starea de echilibru, matricea de tranziție fiind:

$$P \rightarrow \begin{pmatrix} \frac{5}{6} & \frac{5}{6} \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{6} \end{pmatrix} \quad (24)$$

O proprietate importantă a acestei matrice este aceea că vectorii coloană ce compun matricea $P^k, k \rightarrow \infty$ sunt vectorii ce conțin distribuția de echilibru. Distribuția de echilibru reprezintă valoarea vectorului π pentru care

$$\sim P^k \pi, \forall k > 0 \quad (25)$$

4. Evaluare IoT

Realizarea unor estimări cu privire la condițiile de vreme viitoare are ca scop principal comunicarea de informații ce sunt de folos la intervențiile viitoare, dar și pentru a decide de câte ori să fie udată planta într-un interval de timp. În proiect, cloud-ul IoT este folosit pentru a monitoriza informațiile primite de senzori. Se va considera o perioadă de timp, împărțită în șapte sau mai multe diviziuni, caz în care va fi nevoie de variabile în care să se stocheze valorile umidității solului și temperaturii pentru fiecare diviziune și un interval admisibil pentru planta selectată. Dacă distribuțiile probabilităților calculate de lanțul Markov vor fi problematice pentru plantă pe termen lung, rămâne la latitudinea utilizatorului cât de des să se folosească de pompele de apă pentru a mări durata de viață a plantei.

Concluzii

În lucrarea prezentată, am explorat utilizarea senzorilor de umiditate și temperatură cu scopul de a furniza informații valoroase, informații care ajută la calcularea unor statistici legate de condițiile viitoare de mediu. Estimările respective sunt evaluate cu ajutorul lanțurilor Markov. Aproximațiile vor fi transmise prin intermediul IoT-ului la o sursă externă și o pompă va uda plantele dacă este nevoie. Perspectivele de inovare sunt diverse, o idee notabilă este folosirea unei baze de date pentru a se programa un meniu ce va apărea pe un ecran OLED. Meniul va conține necesitățile câtorva plante, utilizatorul putând să vadă atât condițiile ecosistemului în care se află planta, cât și nevoile fiecărei plante, în funcție de specie. Această abordare oferă oportunități deosebite pentru îmbunătățirea eficienței și sustenabilității în agricultura actuală. Cu ajutorul tehnologiilor și algoritmilor moderni se pot identifica și anticipa mai bine nevoile plantelor, contribuind la creșterea randamentului și micșorarea consumului de resurse.

Bibliografie

- [1] <https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/predictions-future-global-climate>
- [2] https://www.researchgate.net/publication/342751186_Capacitive_Soil_Moisture_Sensor_Theory_Calibration_and_Testing
- [3] CAPACITANCE SENSOR FOR SOIL MOISTURE MEASUREMENT Ernest T. Selig and Darold C. Wobschall, State University of New York at Buffalo; Sundru Mansukhani, Law Engineering Testing Company, Birmingham, Alabama; and Arif Motiwala, Stromberg-Carlson, Rochester, New York
<https://eepower.com/technical-articles/determining-series-rlc-circuit-resonance-frequency/#>
[
4
]
- [5] https://miltschek.de/article_2022-06-26_Soil+Moisture+Sensors.html
- [6] <https://lastminuteengineers.com/capacitive-soil-moisture-sensor-arduino/>
- [7] <http://www.physics.pub.ro/Referate/BN121/TERMISTORUL.pdf>
- [8] Anișoara IRIMESCU, meteorological analysis of Romanian flash-flood events, Soil Moisture Virtual Workshop 14/15 July 2020
- [9] <https://greg.app/corn-humidity/>