

BloTA – Sistem IoT bazat pe blockchain pentru monitorizarea și
controlul fermelor zootehnice

AOȘR-TEAMS-IV, EDIȚIA 2025-2026

– Livrabil –



Raport Științific și Tehnic – Etapa 1
Arhitectura Sistemului

Informații document	
Nume document	BloTa RST - Etapa 1
Revizuire	V1.0
Data	31.07.2025
Autori	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea
Status	Confidențial

Aprobări			
Nume	Beneficiar	Data	Viza
	Academia Oamenilor de Știință din România		

Istoric document			
Revizuire	Data	Modificări	Autori
0.1	17.07.2025	Versiune inițială	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea
1.0	31.07.2025	Versiune finală	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea

CUPRINS

1	INTRODUCERE	4
2	ABORDARE ARHITECTURALĂ	5
3	ARHITECTURA MODULARĂ	6
4	TEHNOLOGII UTILIZATE ȘI JUSTIFICĂRI INGINEREȘTI	9
5	INTERFEȚE ÎNTRE MODULE ȘI PROTOCOALE DE INTEROPERABILITATE	9
6	CONSTRÂNGERI TEHNICE ȘI BUNE PRACTICI APLICATE	10
7	PLAN DE TESTARE FUNCȚIONALĂ ȘI DE PERFORMANȚĂ	11
8	CONCLUZII	11

1 INTRODUCERE

Proiectul BloTA propune o arhitectură pentru un sistem IoT augmentat cu tehnologii Big Data și Blockchain, dedicat monitorizării activităților umane și animale în ferme inteligente. Arhitectura are ca obiectiv fundamental susținerea unui sistem distribuit, sigur, scalabil și modular, capabil să integreze în mod eficient componentele hardware și software aferente dispozitivelor inteligente de iluminat, rețelelor wireless, procesării datelor, și infrastructurii blockchain.

Arhitectura software este definită pe baza analizei cerințelor funcționale și nefuncționale, respectând principiile ingineresti ale modularității, reutilizabilității, scalabilității și separării responsabilităților.

2 ABORDARE ARHITECTURALĂ

Arhitectura sistemului BIOTA (Figura 1) este definită ca o arhitectură modulară pe mai multe niveluri:

- Nivelul infrastructurii fizice (Perception Layer, L1) este alcătuit din senzori multifuncționali de mediu montați în puncte strategice ale fermei. Acești senzori măsoară parametri precum: temperatură, umiditate, niveluri de gaze toxice (NH₃, CH₄, CO), detecția de fum și mișcare. Sensorii sunt conectați la microcontrolere embedded low-power (ESP32, STM32), susținute de o rețea electrică și supraveghere fizică permanentă.
- Nivelul rețelei de comunicație și orchestrare IoT (Network Layer, L2). Datele colectate sunt transmise folosind protocoale de comunicație eficiente pentru medii rurale, precum LoRaWAN, MQTT-SN sau CoAP, prin gateway-uri cu interfețe BLE/Wi-Fi și LTE. Sistemul de orchestrare IoT asigură sincronizarea între noduri, rutarea eficientă a pachetelor și reconectarea automată în caz de eșec de rețea.
- Nivelul dispozitivelor inteligente (Edge Layer, L3). Reprezintă nivelul de contact direct cu mediul fizic, acolo unde datele sunt generate în mod primar de dispozitivele BI (Bio-Inteligente) și BS (Bio-Senzoriale). Acestea încorporează: senzori de lumină, mișcare, accelerometre, BLE; controlere embedded low-power; funcționalități de iluminat și semnalizare vizuală inteligentă.
- Nivelul gateway-urilor și agregării datelor (Fog Layer, L4). Nivelul intermediar între cloud și edge, responsabil de agregarea datelor provenite de la multiple dispozitive, preprocesare, filtrare, și transmisie securizată. Gateway-urile sunt prevăzute cu: interfețe BLE și Wi-Fi/LTE; capacități de buffering, agregare și codificare a datelor; mecanisme de decuplare temporală între sensing și analiza centrală.
- Nivelul de procesare și analiză (Cloud & Blockchain Layer, L5). Nivelul superior de abstractizare și decizie, responsabil de: analiza masivă a datelor în regim Big Data (flux + batch); recunoaștere comportamentală prin algoritmi de machine learning (ML) / deep learning (DL); stocare distribuită în blockchain pentru auditabilitate și trasabilitate; furnizarea unui dashboard adaptiv pentru utilizatorii finali.

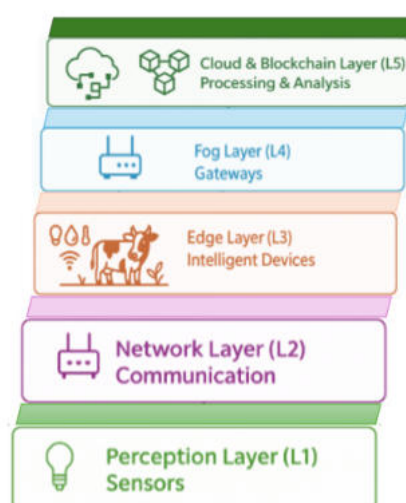


Figura 1. Nivelele arhitecturii sistemului BIOTA

3 ARHITECTURA MODULARĂ

Componente arhitecturale

Modul	Descriere	Nivel	Responsabilitate principală
Modul de iluminat inteligent (BI/BS)	Dispozitive edge cu capabilități BLE, senzorială, comunicație și iluminat	L1	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan
Rețea de comunicație	Utilizează protocoale de comunicație precum LoRaWAN, MQTT-SN, CoAP, prin gateway-uri cu interfețe BLE/Wi-Fi și LTE	L2	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan
Modul de localizare	Folosește trilaterare pentru determinarea poziției utilizatorilor și animalelor	L3–L4	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan
Gateway IoT	Agregator local de date BLE și trimis către Cloud	L4	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan
Serviciu de procesare Big Data	Analizează și clasifică comportamentele pe baza datelor din fermă	L5	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea
Serviciu AI de recunoaștere activitate	Utilizează modele de tip SVM, ANN, Deep Learning pentru recunoaștere comportamentală	L5	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea
Blockchain Service (BloTa Ledger)	Înregistrează date de poziționare și identificare pentru trasabilitate și securitate	L5	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan
Interfață de administrare fermă	Dashboard Web pentru alertare, monitorizare și raportare	L5	Iuliana Marin, Diana Alexandra Ciungan, Roxana Elena Vasiliu, Dănuț-Nicolae Enea

Fluxul de date

Fluxul de date din cadrul proiectului BioTa reflectă o abordare integrată, modulară și scalabilă, în care colectarea, prelucrarea, analiza și vizualizarea informațiilor sunt distribuite pe mai multe niveluri de arhitectură (de la edge la cloud). Sistemul se bazează pe o rețea extinsă de dispozitive bio-inteligente (BI) și bio-senzoriale (BS), completate de gateway-uri edge, un backend cloud inteligent, o componentă de blockchain pentru trasabilitate și un dashboard web adaptiv.

Acest ecosistem complex este conceput pentru a răspunde cerințelor fermei moderne prin detecție timpurie a comportamentelor anormale, monitorizarea în timp real a condițiilor de mediu și asigurarea transparenței prin mecanisme de securitate și auditabilitate. Fluxul de date detaliat mai jos oferă o imagine clară asupra modului în care tehnologiile IoT, AI și blockchain colaborează pentru a susține obiectivele proiectului, precum în Figura 2.

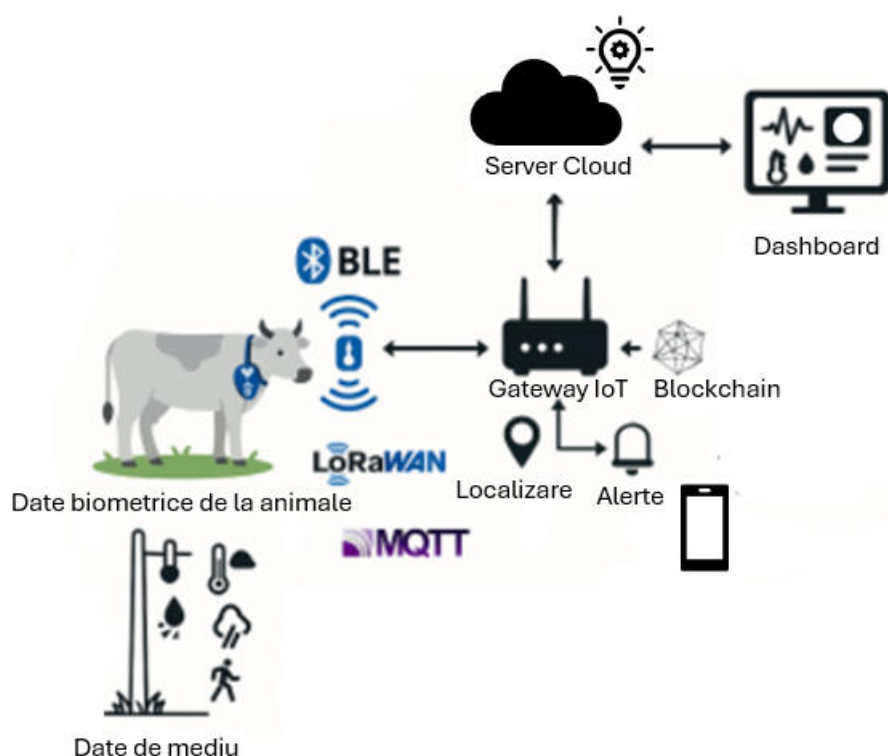


Figura 2. Arhitectura sistemului BioTA

1. Colectare locală de date:

- **Date biometrice animale:** Fiecare exemplar este echipat cu o brățară inteligentă biometrică cu senzori (ritm cardiac, temperatură, accelerometru, GPS). Acestea comunică prin BLE (Bluetooth Low Energy) cu noduri gateway locale.
- **Date de mediu:** Senzorii IoT distribuți în fermă colectează parametri de mediu (temperatură, umiditate, gaze, fum, mișcare). Aceste noduri au capacități edge computing pentru preprocesare locală (filtrare, normalizare, compensare).

- **Dispozitivele funcționează în regim low-power**, iar transmiterea datelor se face prin LoRaWAN (pentru date animale) și MQTT/TLS (pentru senzori de mediu).

2. Transmitere și agregare locală:

- **Gateway-urile** din fermă agregă datele din proximitate, le preprocesează (validare, eliminare anomalii evidente, etichetare temporală) și le transmit în mod securizat spre serverul central BioTa (cloud).

3. Procesare și analiză inteligentă:

- Serverul BioTa aplică algoritmi de inteligență artificială și învățare automată (detecție de anomalii, clustering K-Means, rețele neuronale recurente RNN) pentru:
 - Identificarea comportamentelor atipice (mobilitate redusă, accelerare cardiacă).
 - Detectarea condițiilor periculoase de mediu (gaze toxice, incendii, temperaturi extreme).
 - Generarea automată de alerte critice și sugestii de diagnostic pe baza istoricului.

4. Gestionarea alertelor și automatizare:

- Alertele generate sunt transmise către utilizatori (veterinari, fermieri) pe dispozitivele mobile. Se activează reguli automate definite anterior (ex: alertă dacă temperatura > 38°C și animal inactiv > 4h).

5. Înregistrare și trasabilitate:

- Evenimentele critice (alerte, tratamente, schimbări de stare, incidente) sunt înregistrate automat într-un blockchain privat (Hyperledger Fabric).
- Periodic, se realizează o sincronizare criptografică cu un blockchain public (Ethereum) prin hashuri Merkle, pentru audit extern.
- Sistemul păstrează loguri criptate cu toate acțiunile și autentificările.

6. Vizualizare și control:

- Datele sunt afișate într-un dashboard interactiv, cu suport pentru:
 - Vizualizare în timp real și istoric.
 - Hărți dinamice cu localizarea animalelor și senzorilor.
 - Jurnale de evenimente și trasabilitate (cu opțiuni de filtrare/export securizat).
 - Configurare de reguli, praguri și scheme de tratament personalizate, salvate în JSON și propagate automat în rețea (prin orchestrare IoT, respectiv Kubernetes on Edge).

7. Autentificare și securitate:

- Accesul la sistem se face prin JWT, certificate X.509 și autentificare multifactorială (2FA).
- Dispozitivele sunt autentificate prin mutual TLS și onboarding securizat.
- Controlul accesului este gestionat prin RBAC în funcție de roluri (fermier, veterinar, administrator).

4 TEHNOLOGII UTILIZATE ȘI JUSTIFICĂRI INGINEREȘTI

4.1 IoT și Edge Computing

- BLE este ales pentru consum redus și granularitate în poziționare;
- MQTT pentru comunicare asincronă între noduri edge și gateway;
- utilizarea de firmware lightweight (Zephyr OS, FreeRTOS);
- separarea canalelor de control și date.

4.2 Big Data și AI

- Apache Kafka pentru ingestie de fluxuri;
- Apache Spark pentru procesare paralelă;
- MongoDB/InfluxDB pentru stocare temporală și nestructurată;
- TensorFlow/PyTorch pentru antrenarea și rularea modelelor AI;
- utilizarea de algoritmi SVM și CNN pentru clasificare multi-modală.

4.3 Blockchain și securitate

- Hyperledger Fabric pentru înregistrarea evenimentelor critice;
- timestamp digital pentru sincronizare;
- control acces bazat pe identitate (PKI);
- jurnalizare a evenimentelor relevante cu imutabilitate garantată.

5 INTERFEȚE ÎNTRE MODULE ȘI PROTOCOALE DE INTEROPERABILITATE

- API RESTful între stratul cloud și dashboard;
- protocoale Protobuf sau CBOR pentru codificare compactă între edge și fog;
- canal MQTT securizat TLS pentru datele provenite din teren;
- endpoint-uri blockchain expuse prin API Gateway (GraphQL pentru acces rapid);
- managementul configurației prin fișiere JSON și scheme YAML.

6 CONSTRÂNGERI TEHNICE ȘI BUNE PRACTICI APLICATE

IoT:

- Conectivitate redusă → utilizarea BLE și protocole eficiente de comunicație
- Putere de calcul limitată → delegarea sarcinilor grele către gateway și cloud
- Protocol standardizat de comunicație între module (MQTT, CoAP)

Big Data:

- Volum ridicat de date → utilizarea Apache Kafka, Spark sau Hadoop
- Procesare în flux pentru recunoaștere în timp real
- Persistență în baze de date NoSQL (ex: MongoDB)

Blockchain:

- Folosire de mecanisme DLT pentru trasabilitate (ex: Hyperledger Fabric)
- Înregistrare a pozițiilor și identificatorilor pentru validarea ulterioară
- Protecția integrității datelor în caz de atac

Contracte de interfață între module

Modul Emitent	Modul Receptor	Tip interfață	Conținut și format	Frecvență
BS/BI	Gateway Fog	MQTT topic	JSON codificat CBOR: ID, timestamp, RSSI, status LED	La 2 secunde
Gateway	Cloud Kafka	Kafka topic	CBOR: batch de mesaje BLE filtrate	Eveniment-based
Cloud	AI Module	REST + JSON	Vectori semnătură comportamentală + metadata	Periodic/stream
AI Module	Blockchain	Smart contract	Structură eveniment + hash criptografic	La eveniment
Cloud	Dashboard	REST API	JSON: Date contextuale, alertă, comportament estimat	La cerere/Push

7 PLAN DE TESTARE FUNCȚIONALĂ ȘI DE PERFORMANȚĂ

Testare funcțională

- Verificarea transmiterii corecte a datelor BLE între dispozitiv și gateway;
- Testare API între componente;
- Simularea comportamentului utilizatorului și animalului cu date sintetice;
- Activarea alertelor în dashboard în funcție de condiții definite.

Testare de performanță

- Testare scalabilitate Kafka cu ≥ 10.000 mesaje/minut;
- Evaluare latență totală de la captare până la alertă ($< 5s$);
- Verificare încărcare AI (timp inferență $< 1s$);
- Testare de integritate a blockchainului la scrierea simultană de evenimente ($\geq 100/sec$).

8 CONCLUZII

Arhitectura propusă pentru BioTa constituie un fundament solid pentru dezvoltarea unui sistem distribuit, inteligent și robust. Alegerea unei abordări stratificate și modulare răspunde nevoii de adaptabilitate tehnologică, extindere și securitate, fiind compatibilă cu tendințele actuale în industria IoT, agricultura de precizie și lanțurile de aprovizionare securizate prin blockchain.

Fluxul de date propus în cadrul arhitecturii BioTa demonstrează:

- Colectarea distribuită, eficientă energetic, prin utilizarea tehnologiilor low-power și protocoalelor optimizate (BLE, LoRaWAN, MQTT-SN);
- Procesarea progresivă a datelor, de la nivelul local (edge/fog) la nivelul central (cloud), ceea ce reduce latența și optimizează utilizarea resurselor de calcul;
- Analizarea avansată, bazată pe algoritmi AI/ML, care permite predicții, clasificări și generarea de alerte în mod automat;
- Trasabilitatea și securitatea crescută prin integrarea unui sistem hibrid de blockchain (privat + public), ce garantează integritatea și transparența datelor;
- Crearea unei interfețe personalizabile pentru utilizatorii finali, facilitând decizii rapide și acțiuni corective în timp real.

Prin adoptarea tehnologiilor de ultimă generație în materie de comunicație (BLE, LoRaWAN, Wi-Fi/LTE), prelucrare (AI, Big Data), securitate (Blockchain), sistemul îmbină tehnologia cu flexibilitatea operațională. Preprocesarea datelor la nivelul gateway-urilor reduce sarcina rețelei și optimizează timpii de răspuns, în timp ce analiza din cloud oferă un cadru de învățare automată și comportamentală.

Integrarea blockchain-ului, într-un sistem care presupune identificare, poziționare și supraveghere continuă, reprezintă un diferențiator pentru garantarea trasabilității și auditabilității. Astfel, datele devin nemodificabile, contribuind la încrederea generală în sistemul BloTa, mai ales în contexte unde siguranța animalelor sau calitatea mediului trebuie dovedite prin date.

Nu în ultimul rând, interfața vizuală integrată aduce valoare utilizatorilor finali, oferind un mediu pentru supraveghere, intervenție și analiză a tendințelor în timp real. Toate aceste caracteristici contribuie la transformarea arhitecturii BloTa într-o soluție inteligentă, scalabilă și aplicabilă în multiple domenii de interes strategic pentru tranziția către o agricultură și o infrastructură sustenabilă.