

Rezumatul etapei 2/ 2015

Etapa 2 intitulată “Model experimental de laborator (versiune alpha)” a cuprins numeroase activități, dintre care amintim: Definirea cerințelor hardware și software ale modelului experimental (ME); Proiectarea ME; Experimentari cu componentele individuale ale sistemului; Dezvoltarea de algoritmi/metode de prelucrare și analiza a datelor; Evaluarea lor pe un set de imagini de test; Evaluarea și clusterizarea factorilor de risc; Proiectarea modului risk management; Realizarea ME (versiunea alpha a sistemului). Teste și experimentari în laborator. Diseminarea rezultatelor.

Obiectivele corespunzătoare Etapei 2/2015, *au fost îndeplinite cu succes, în proporție de 100%*. În continuare enumerăm principalele realizări ale proiectului în cadrul etapei curente: s-au definit cerințe hardware și software ale modelului experimental (ME) și s-a finalizat proiectarea ME - versiunea alpha(P1,P2,P3,P4,P5). S-au realizat experimentari cu componentele individuale ale sistemului în mini-laboratoarele amenajate de P4, CITST și CCEE. Partenerii P3 și P5 au dezvoltat algoritmi/metode de prelucrare și analiza a datelor și au realizat evaluarea lor pe un set de imagini de test. Evaluarea și clusterizarea factorilor de risc și proiectarea modului risk management a fost realizată de CO. Teste și experimentari în laborator au efectuat toți partenerii proiectului. Diseminarea rezultatelor va fi prezentată în detaliu în secțiunea 4. *In plus s-a organizat workshop-ul*, propus în planul de activități în etapa 3.

1. Soluții de referință în domeniul Sistemelor de Management și Mentenanță a Drumurilor (PMMS)

În ultimii ani, sistemele de management a pavajelor au cunoscut o evoluție semnificativă, cu referire la rolul tot mai crescut al modulelor de analiză a costurilor și prognoză, precum și al modulelor și al sistemelor GIS care și-au dovedit utilitatea în PMS. Prezentăm câteva soluții reprezentative pentru acest domeniu PMS:

Sistemul de Management al Pavajelor (PMS) **MS2** oferă instrumente esențiale pentru deciziile de îmbunătățire a drumurilor, de rentabilizare, analiză și de gestionare. Pentru eficiența managementului modulele au mai multe facilități utile: Localizarea de amplasare a segmentului rutier și descrierea acestuia, datele sondajului de stare rutieră, date de detaliu despre starea rutieră, segmentul de drum și evaluări de rețea, grafice și de raportare, istoria de tratamente rutiere. Componentele de întreținere sunt asigurate printr-o cerere de deteriorare carosabil adecvat și tipul și costul de tratamente recomandate de drum (MS2, 2014).

Sistemul **SMEC** este folosit de către autoritățile guvernamentale australiene și internaționale, în scopul de a îmbunătăți performanța rețelelor de drumuri și a activelor de inventar rutier. SMEC este un Asset Management avansat. Soluție dezvoltată tehnic se bazează pe SQL Server și tehnologie Oracle, Sisteme Informatice Geografice (GIS) integrare, capacități de cartografiere tematice, și proiectare și întreținere autostrăzi (HDM) și modelare. SMEC™ s ca un PMS de referință folosește o tehnologie avansată și HCI (Interaction Computer Human) are o interfață user-friendly. În procesul de administrare și întreținere SMEC oferă posibilitatea de a selecta cel mai adecvat program de lucrări de maximizarea performanței pe termen lung a rețelei într-un domeniu de finanțare și de tratament strategii definite de utilizator (SMEC, 2015).

AgileAssets Software este o platformă ce poate fi asimilată ca un Sistem de Management Integrat, folosind cele mai noi tehnologii și instalații mobile integrate în module. Arhitectura sa este formată din patru module: **Trade-Off Analyst, Analyst Series Modules, Manager Series Modules and AgileAssets Core System**. Trade-Off Analyst se adresează la nivel executiv cu o ofertă de scenarii de analiză și opțiuni de investiții pentru a realiza optimizarea în alocările de fonduri între programe și tipuri de active. Analyst Series Module este dezvoltat pentru a determina strategiile optime de întreținere sau de reabilitare a utilizând analiză avansată, pentru a proiecta performanțele activelor viitoare și pentru a obține ROI maxim. Manager Series Modules urmaresc ciclul de viață de management al drumurilor, prin sarcini de lucru standard începând de la planificare, programare, comenzi de lucru, înregistrarea și raportarea de sarcinilor de muncă. AgileAssets Sistem Core leagă împreună toate modulele și oferă set de capacități pentru portofoliul de produse AgileAssets de la configurare la raportare, legătură cu GIS, LRS, și aplicațiile mobile (AgileAssets, 2015).

Pavement Analyst este un alt sistem de management al pavajelor (PMS), care s-a axat pe caracteristicile de suport decizional, prin optimizarea procesului de decizie pentru a maximiza efectul bugetului de pavare și pentru a atinge cel mai înalt ROI posibil investițiilor. Caracteristicile sale sunt mai mult orientate pe procese de întreținere și reabilitare. Folosind datele din analiza curentă a stării pavajelor, se poate prezice performanța viitoare și se pot determina nevoile de rețea pavaj. Analizele de buget LCCA(Life-Cycle-Cost-Analysis) sunt realizate de multi-constrângere și analiza multi-ani și unități de stocare, prin o mai bună analiză și maximizare a efectului. Proiecție de nivel-de-servicii (Level-of-Service-LOS) viitoare pentru zonele pavaj specifice se fac cu ajutorul modelării de deteriorare, pentru a determina strategii optime de întreținere. Ca ieșiri specifice, se produc planuri de determinare a bugetului de lucru specifice pentru scopurile LOS (AMRS, 2000).

2. PAV3M o soluție integrată PMMS

Raportul din Etapa I a detaliat obiectivele PAV3M, specificarea cerințelor modelului experimental PAV3M, funcționalitatea sistemului PAV3M, fațeta subiect, Fațeta utilizare, Fațeta IT, Fațeta de dezvoltare, specifice analizei cerințelor platformei PAV3M,

actorii și rolurile lor.

2.1. Procesul de business PAV3M

Cele mai multe contracte se referă la trei actori responsabili: Beneficiar, Constructor și Consultant. Sunt încheiate contracte numai între Beneficiar și Constructor sau între beneficiar și Consultant. Contractul chiar dacă este încheiat între Constructor și Consultant, Consultantul este responsabil (prin contractul cu beneficiarul) pentru supravegherea activității pe care o desfășoară Constructorul. Consultantul aprobă toate lucrările din fiecare fază, certifică și atestă sumele necesare pentru a plăti, și recomandă anumite acțiuni la beneficiar, deciziile privind executarea (sub rezerva aprobării). Constructorul și Consultantul au un director și experți implicați în executarea și supravegherea lucrărilor de proiect. În aceste condiții, în cazul în care o companie a câștigat deja o licitație de proiect depune sumele aferente pentru toate cheltuielile, care devine o defalcare buget, un Consultant va fi responsabil de gestionarea valorilor reale pentru proiectul respectiv și de estimare (după calcule).

Chiar dacă până acum firmele participante la licitație au propria lor structură și cheltuielile asociate plan de execuție, am considerat util să propunem o structură standard din costurile proiectului baza de date. Acest lucru permite ca o serie de proiecte de management și de gestionare a pavajelor să fie unificate și asociate cu arhiva de date, ceea ce permite de gestionarea riscurilor și previziuni viitoare.

Procesul de afaceri poate fi descris în mai multe etape majore:

- Consiliul Județean/Regional / Ministerul Transporturilor / CNADNR dictează specificații pentru: a) reabilitarea unui drum; b) menținerea unui drum; c) construirea unui drum nou.
- Firmele licitează pentru aceste proiecte și conform specificul fiecăreia, prezintă specificații în funcție de costurile și categoriile lor, sumare de cheltuieli și grafice de lucrări. Momentan este un format xls de fișier, propunerea noastră este o serie de tabele intercorelate. Multe companii sunt prezente în licitarea proiectului iar după licitație poate fi declarat câștigător. Pot fi unele situații cu volum mare de locuri de muncă, cazul în care mai multe societăți sunt asociate cu un proiect (numit proiect de asocier).
- Consiliul Județean/Regional / Ministerul Transporturilor / CNADNR oferă analize și determină câștigătorul licitației. Până în prezent, această fază a licitației are loc local sau la locația fizică Ministerul / CNADNR și nu oferă soluții de licitații online. Din acest motiv nu se pune problema de dezvoltare a acestei soluții de e-licitație în proiectul nostru. Proiectul care a câștigat licitația cu costurile inițiale devine soluții de bază la defalcarea bugetului.
- În faza următoare, Consultantul sfatuieste proiectantul în fiecare etapă de execuție. Costurile reale diferite sunt de cele estimate, ca urmare a celor care apar ca factori de risc, descrise în detaliu în Raportul Etapei I. În scopul de a actualiza costurile este nevoie să se utilizeze **formula de escaladare**, din cauza diferențelor de costuri: de expropriere / materii prime, forței de muncă, etc. Acești coeficienți sunt obținuți folosind specificațiile oficiale, bazate pe reglementările existente la nivel național. În cazul în care proiectul este executat de o asociație de companii, fiecare are îndatoriri foarte clare și funcționale.
- Pe fiecare fază în care sunt calculate diferențe pe baza costurilor reale ale declarațiilor (facturi de materiale, manopera note realizate de companiile executante) și a celor prevăzute inițial. Ele privesc diferențele dintre costurile totale și cele calculate, estimate și realizate pe baza LCCA (Life Cycle Cost Analysis).
- Factorii de risc sunt implementați în modulul de management al riscurilor, la care au acces doar managerul de proiect și consultant.
- În faza de întreținere / reabilitarea se colectează și procesează imagini de la sol. Aceste imagini sau clipuri video) sprijină decizia de reabilitare și mai ales soluția aleasă, prin analiza drumului, analiza de fisurii, cratere, / alte defecte existente. Imaginile sunt disponibile de la format special de .jpg / JPEG / purple/ etc Apoi, acestea sunt stocate în baza de date, în care fiecare imagine a fost asociată cu KM la care au fost achiziționate imaginile.

2.2. Arhitectura PAV3M

Ca regulă generală, utilizarea de echipamente trafic viteză de monitorizare stare pavaj are drept scop reducerea riscurilor de siguranță și perturbare a traficului, comparativ cu echipamentele sondaj mișcare staționare sau lent. În plus, beneficiile atractive pot fi realizate, inclusiv economiile de costuri, prin optimizarea strategiei de monitorizare pe o rețea de drumuri, ținând seama de tipul și frecvența analizelor. Prin urmare, în prezentul proiect ne propunem, să prezentăm un **model integrat analiză de risc** care se adresează aspecte cheie ale mentenanței pavajelor.

Prototipul oferă o soluție integrată pilot în întreținerea drumurilor și o soluție de monitorizare, folosind GPS, dispozitive GPRS și geo-codificare și caracteristici de de-codificare Multimap. Am definit o abordare modulară bazată pe caracteristici ale sistemului de management pavaje: *IPA (procesare de imagine și de analiză)*, *Modul de Management și de Mentenanță (MM)* și modulul de *Informații generale*. *IPA (procesare de imagine și de analiză)*, care are rolul de a colecta și de a transmite parametri despre drumuri, de colectarea, prelucrarea și analizarea informațiilor cu privire la fisurile și neregularitățile rutiere, *Informații generale* care coordonează PMM și două părți: IPA și Modul de Management și de Mentenanță (MM), care se conectează și să transmită informații la bazele de date. Modulele IPA procesează toate imaginile furnizate dispozitivele mele mobile, face analize și monitorizează în MM.

Import / export date este împărțit în două părți: *Harta Vehicul Layer*, conține instrumente de timp real și monitorizarea statică în timp, *Informații și parametrii de drum* și *Informații Generale*, pe baza a cinci componente: Inspecție și înregistrări de stare,

stabilirea priorităților, organizarea resurselor, Inspecția materialelor, ultimele doua componente oferind parametri numai la cerere (Figura 1).

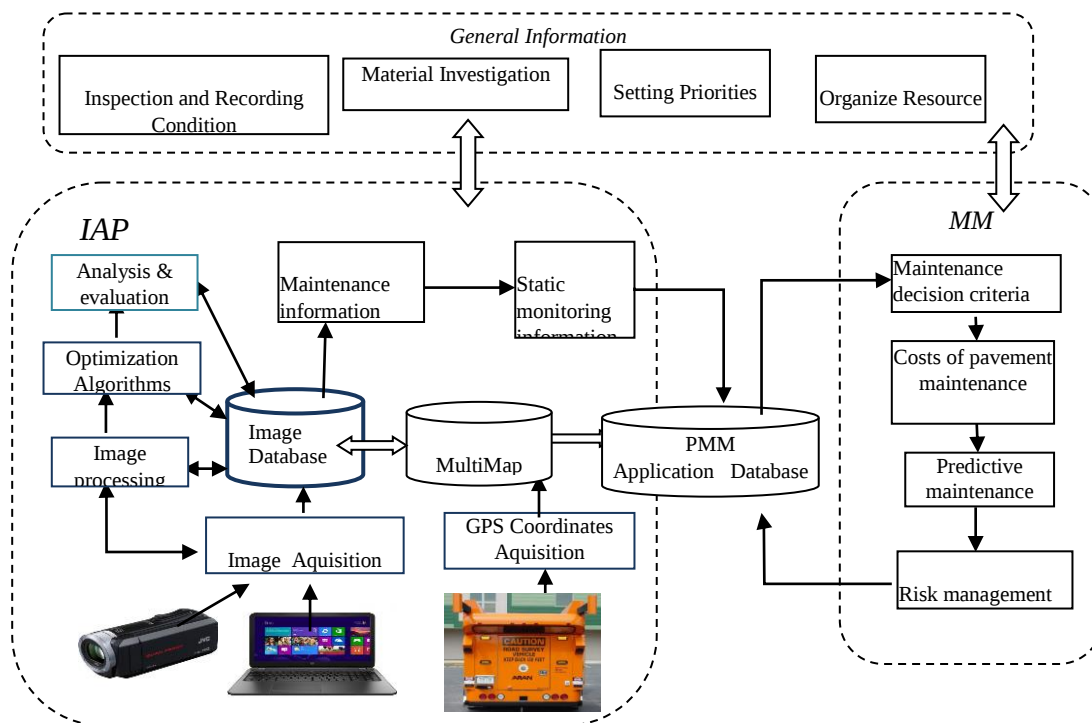


Figura 1. Arhitectura PAV3M [Rusu et all, 2015].

Vector Map constă în trei părți: informații despre parametrii drumurilor, informații de monitorizare statice și de mentenanță, în legătură cu un middleware puternic pentru baza de date MultiMap. Modul anagement și de mentenanță include proceduri și module pentru colectarea, analiza, menținerea și raportare a datelor despre drumuri (Figura 1). O parte importantă este IAP, care include Achiziționarea Imaginilor, Prelucrare și analiză o de imagine și Algoritmi de optimizare. IAP este conectat la Module de Analiză, evaluare și de mentenanță. Pentru monitorizarea rutieră propunem GIS (Geographic Information System) în legătură cu vehiculul mobil și o video-cameră ca o soluție mai ieftină pentru a determina accidente rutiere sau alte probleme. Toate datele colectate vor fi procesate într-un modul specializat al IPA care dă detalii despre defecțiuni. Acestea sunt încărcate în baza de date rutieră (PMM Application Database).

În paralel cu achiziția de imagini, un subsistem specializat achiziționează vibrațiile automobilului, în scopul clasificării zonelor cu pavaj alterat. Semnalele sînt înregistrate într-un laptop, care transmite datele, ulterior, spre baza de date. Semnalele de vibrații mai sînt folosite pentru crearea unei hărți cu densitatea spectrală de putere a denivelărilor drumului. Prelucrarea acestor semnale include separarea surselor de vibrații, întrucît vibrațiile de la motor și de la sistemul de transmisie al vehiculului se adaugă la cele produse de interacțiunea drum-vehicul. Pentru separarea surselor de vibrații, au fost propuse alternative la metodele din clasa Independent Component Analysis, alternative bazate pe algoritmi genetici.

Un sistem de poziționare globală (GPS) este utilizat pentru a oferi poziția exactă a defectelor detectate. Utilizarea GPS diferențial (DGPS) va fi de asemenea investigat pentru creșterea rezoluției. Utilizarea sa depinde de disponibilitatea unor informații suplimentare ale unor astfel de stații de referință de la sol sau sisteme de augmentare prin satelit. Informațiile GPS vor fi cuplate la sistemele publice de hartă disponibile, cum ar fi OpenStreetMaps (www.openstreetmap.org), Google Maps, sau Bing Maps (Microsoft).

Pe baza informațiilor rutiere și deranjamentelor zonale, colectate și efectuate de IPA, precum și informații de monitorizare statice, managerii de proiect pot realiza Criterii de decizie în mentenanță, folosind LCCA (Life Cycle Cost Analysis). Informații generale actualizate cu specificațiile oficiale, pe baza reglementărilor existente (formula de escaladare) se efectuează în Costul de întreținere a pavajelor și în Mentenanța predictivă pentru a stabili cea mai bună strategie pentru reabilitarea și / sau de întreținere a drumurilor [Rusu et all, 2015].

Am analizat mai multe metode pentru RMS și BMS. *Analiza multi-criterii (Multi-criteria analysis)* utilizează o serie de parametri: opțiuni de rată / rang cu privire la set de obiective, măsuratori de performanță, greutatea, și impact. Metoda de analiză *cost-efectiv (Cost-Effective Analysis)* folosește opțiuni de rată / rang cu privire la beneficiile și costurile. Analiza cost-eficiente Rata centrate / opțiuni rang în ceea ce privește eficiența și costurile pavajelor. Acest lucru este adecvat atunci când atât eficiența cât și alte măsuri (de exemplu, frecvența, capital) pot fi cuantificate, dar unde alte măsuri nu pot fi valorificate (McPherson și Bennett, 2005; Weimer, Aidan și 2004). *Analiza Cost-pe Ciclu de viață (Life-Cycle Cost Analysis)* folosește opțiuni de rată / rang în ceea ce privește costurile de agenție și de utilizator, suportate pe durata de viață a unui proiect și încearcă să evalueze costurile externe. *Reguli de*

decizie euristica (Heuristic Decision Rules) identifica cea mai bună opțiune posibilă pe baza unei reguli de rezolvare a problemelor. În țara noastră, din cauza lipsei de experiență în PMMS am optat pentru metoda de analiză cost-beneficiu în PMMS și Metoda analizei Cost-pe Ciclu de viață în PMM.

Noi folosim datele istorice pentru Mentenanța Predictivă și pe baza rezultatelor obținute în modulul de Monitorizare, Analiză și evaluare se poate realiza un sistem de decizie pentru Decizia de Mentenanță, pe baza unor criterii flexibile stabilite în conformitate cu prioritățile și resursele. Pentru modul de analiză a costului de întreținere pavaj urmăm recomandările internaționale ale UE și vom împărți în sub-noduri, în conformitate cu strategia națională și divizie regională (Weimer și Aidan 2004). Am folosit Criterii unificate de întreținere și de management a pavajelor (Unified Facilities Criteria for Pavement Maintenance Management). Acest modul va oferi strategii alternative pentru a acoperi o gamă largă de riscuri asociate cu drumurile, care a fost propusă de Paine (McPherson și Bennett 2005). Modul de analiză a riscului utilizează metode de clusterizare și mai multe caracteristici constată ca factori importanți: calitatea muncii, costului necesar, perioada analizată, calitatea proiectării, sarcina utilă, îndemânarea forței de muncă și date de inventar. Principalele caracteristici rămân de timp, costuri și calitatea serviciilor și materialelor care se află în categoria "mediu" în zilele noastre. Soluția bazată Web poate oferi o interfață personalizată, în funcție de tipul de utilizator (administrator, la nivel înalt funcționar minister, specialist rutier, auditor).

2.3. Particularități de risc management în Sistemele de Management și Mentenanță a Drumurilor (PMMS)

Această aplicație are ca scop crearea unui model de prognoză pentru a ajuta contractorii și agențiile în construirea de drumuri și în proiectele de întreținere a drumurilor, pentru a obține un acord reciproc convenabil. Managementul Pavajelor (PM) este "un program pentru îmbunătățirea calității și performanței drumurilor, calitatea și performanța pavajelor și minimizarea costurilor prin bune practici de gestionare a lor" [PMBOOK,2000]. "Un Sistem de Management de Pavaje (PMS) este un set de proceduri definite pentru colectarea, analiza, menținerea și raportarea datelor de pavaje pentru a asista decizia de raportare a datelor de pavaj, pentru a asista factorii de decizie în găsirea unor strategii optime pentru menținerea pavajelor în stare de funcționare pe o anumită perioadă de timp cu cel mai mic cost." PMS nu ia decizia aceasta ci include module de suport decizional ca un instrument important pentru manageri [Benta et al, 2011].

Potrivit Damodaran (2008) managementul pavajelor poate sprijini deciziile în cadrul organizației la trei niveluri: strategic, rețea, și de proiect. Deciziile la nivel strategic ar putea influența eforturile strategice pe termen lung în cadrul organizației. Aceste decizii pot include stabilirea obiectivelor de performanță, alocările de fonduri, și strategii de conservare. La nivel de rețea, informațiile despre condițiile actuale și viitoare de rețea ar putea influența deciziile tactice pe un interval de timp tipic de 5 ani. Decizia s-a axat pe efectele mai multor bugete cu rază mică de acțiune și cu rază lungă, consecințele diferitelor strategii de investiții, și opțiunile de plan de lucru pentru rețeaua de pavaje. La nivel de proiect, deciziile sunt concentrate într-un interval de timp scurt (de exemplu, 2 ani) și pot include selectarea activităților de întreținere, materiale, și grosimi de proiectare pavaje [PMBOOK,2000].

Un Sistem de Management de Pavaje (PMS) furnizează informații obiective și date utile pentru analiza practicilor de construirea de noi drumuri, reabilitare de drumuri, monitorizarea stării post-construcție, de sincronizare de întreținere preventivă și domeniul de reabilitare, oferind un instrument software util pentru costuri, risc și beneficiu, bazat pe set de analize de risc și de parametri de predicție. În special, această aplicație de gestionare a riscurilor va sprijini decizional managerul de proiect va influența direct costurile, bugetul și alocarea resurselor, și deciziile legate de atenuare, asigurări, concentrându-se pe stabilirea priorităților, în general. Această metodă de prognoză a claselor de referință evită creșteri de costuri pentru implementarea proiectului. O diagramă cauze și efecte cu grupurile sale primare de cauze care au condus la necesitatea acestei cereri este prezentată în Figura 2 [Dines et al, 2015].

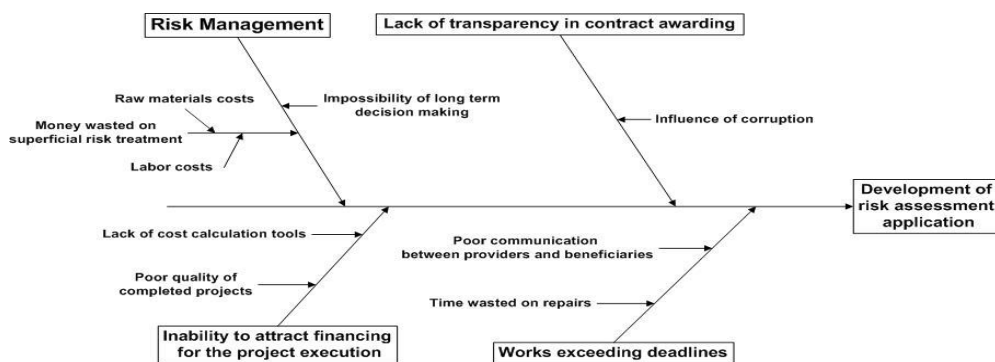


Figura 2. Diagrama cauza-efect

Surse de risc identificate prin analiza ciclului de viață al unui proiect de construcție pavaj sunt enumerate în Figura 3, fiecare cu locul de impactul considerat a avea loc, clasificare ca risc mare, mediu sau scăzut [Dines et al, 2015].

Utilizând un sistem de management al riscului în cadrul unei organizații poate duce la minimizarea costurilor de producție și de întreținere, pentru că scopul principal este de a menține drumurile la nivelul de calitate dorită și nu de a aștepta până când se deteriorează starea sa și abia apoi să se efectueze reparații adecvate, pentru a crește în acest mod costurile de întreținere.

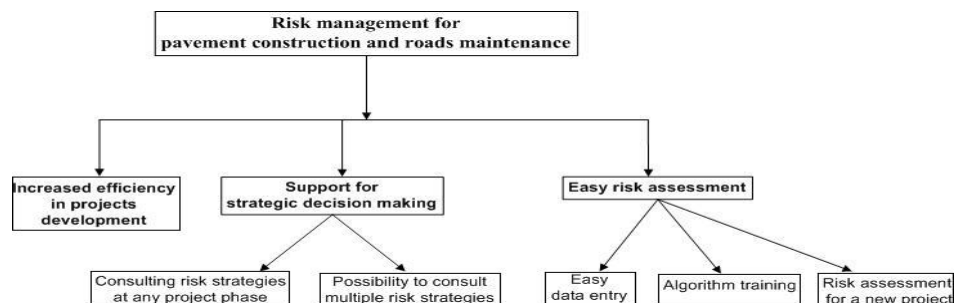


Figura 3. Diagrama obiectivelor riscurilor în PMMS.

2.4. Sistemul mobil de achiziție date

În ciuda creșterii capacității sistemelor actuale referitor la colectarea și analiza datelor, în prezent, acestea sunt încă încorporate pe vehicule specializate ce necesită competențe speciale pentru exploatare, cicluri de inspecție lungi și costuri ridicate. În acest context, noutatea adusă de proiectul de față se justifică prin absența la nivel internațional a unui sistem automatizat, portabil, de control/monitorizare vizuală a drumului, operabil la viteze de trafic, care, având în vedere integrarea și eficiența costurilor, poate fi pus la dispoziție în număr mare și montat pe vehiculele nededicate. Arhitectura sistemului PAV3M este ilustrată în Figura 4.

2.4.1. Sistem de camere video

Imagini de înaltă rezoluție sunt esențiale pentru a detecta în mod eficient și măsura caracteristicile de pe drumurile neasfaltate pentru monitorizarea stării drumului. Configurația tipică a vehiculului de inspecție constă din una sau mai multe camere video orientate în jos (spre pavaj), cel puțin o cameră care vizează direcția înainte, pentru imaginea de perspectivă, precum și oricâte alte camere suplimentare pentru captarea imaginilor de pe marginea drumului, semnalizări etc., precum și a oricăror alte informații. Sistemul de camere pe care îl propunem constă dintr-un sistem de camere principale pentru achiziția date legate de pavaj și un aparat de fotografiat cu vedere circulară 360 grade (*fisheye*) pentru captarea informațiilor legate de mediu și orientare. Utilizarea unui aparat de fotografiat *fisheye* este un design inovator în sistemele de monitorizare a pavajelor și utilizarea sa nu a fost exploatată până acum. Camera are un obiectiv cu unghi larg, care cuprinde o imagine de ansamblu, panoramică și emisferică a mediului. Astfel de aparate sunt folosite de exemplu în captarea imaginilor pentru aplicații Google Earth. Integrarea unei camere *fisheye* în sistemul PAV3M oferă informații despre mediului înconjurător drumului care sunt importante pentru: a) corelarea imaginii pavajului cu cele de la mediul înconjurător captate de camera *fisheye*, pentru a recunoaște în imaginile pavajului artefactele provocate de exemplu, de umbrele arborilor; b) furnizarea informațiilor legate de mediu care pot afecta în viitor pavajul, de exemplu, bolovanii care cad în munți. Această informație este folosită pentru predicția riscului și este inclusă în sistemul de gestionare a costurilor [Cramariuc and Rusu, 2015]. Având în vedere numărul mare de parametri care trebuie luați în considerare și de analiză de performanță și testare a mai multor camere disponibile, am găsit un optim între: preț, rezoluție, viteză, sensibilitatea senzorului, viteza transferului de date, posibilitățile de control al sistemului de lentile (de exemplu, control motorizat al irisului), versatilitate în programarea camerei, etc. De exemplu, opțiunile posibile sunt camerele realizate de Allied Vision (<http://www.alliedvisiontec.com>), ce oferă o gamă largă de camere pentru vedere artificială cu interfață FireWire, comunicație Gigabit Ethernet (GigE), rezoluții între 1 și 30 Megapixeli și rate de până la 400 de cadre/secundă. Allied Vision oferă de asemenea o gamă largă de kituri de dezvoltare software (SDK) pentru controlul camerei și achiziția imaginii, toate fiind gratuite [Cramariuc and Rusu, 2015].

2.4.2. Achiziția de imagini

Semnalele 2D utilizate pentru această fază a proiectului sunt imagini statice și cadre video. Acestea au fost achiziționate de pe o șosea care se găsește într-o localitate din județul Sibiu, șosea caracterizată prin multe deficiențe ale carosabilului (gropi sau crăpături). Pentru a achiziționa imaginile s-a folosit o camera GoPro montată la capătul mașinii, dar în afara mașinii. Aceasta a achiziționat imaginile statice, respectiv cadrele video. Pentru cele din urmă, achiziția s-a făcut în timpul mișcării. Cadrele video au fost extrase și un cadru individual s-a considerat ca o imagine care a fost ulterior procesată. Rezoluția unei imagini statice sau a unui cadru video individual a fost aleasă astfel încât să se asigure comptabilitatea și, totodată, un timp de prelucrare minim. Astfel, rezoluția camerei a fost 1920x1080; 30p; 16,9. Condițiile de expunere și anumite date referitoare la achiziție sunt prezentate în Tabelul 1.

Condiții de expunere	Cadre video	Imagini statice
Înălțimea	106 cm	106 cm
Distanța	5 km	5 km
Viteza	10 km/h	0 km/h

Tabelul 1: Condiții de expunere și de achiziție a imaginilor/cadrelor video

2.4.3. Sistemul de poziționare globală

Un receptor pentru sistemul de poziționare globală (GPS) este folosit pentru a oferi poziția exactă a defectelor depistate. Utilizarea GPS diferențială (DGPS) va fi de asemenea investigată pentru creșterea rezoluției. Utilizarea sa depinde de disponibilitatea informațiilor suplimentare, cum sunt stații de referință cu baza pe sol sau sisteme de augmentare bazate pe sateliți. Informațiile GPS vor fi cuplate la sistemele publice de hărți disponibile, cum sunt OpenStreetMaps (www.openstreetmap.org), Google Maps sau Bing Maps (Microsoft).

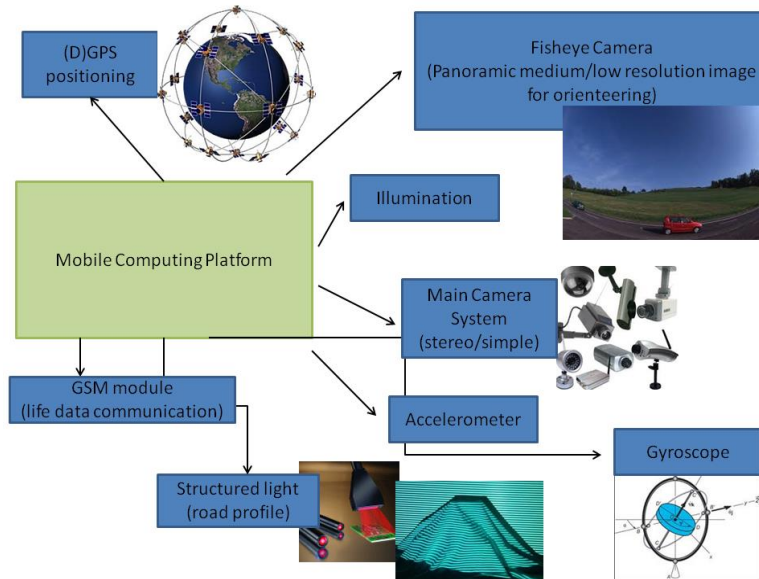


Figura 4. Sistemul mobil de achiziție a datelor PAV3M [Cramariuc and Rusu, 2015].

2.4.4. Iluminatul

Iluminatul corespunzător este necesar pentru a obține imagini de înaltă calitate. Sursele de iluminat cele mai uzuale sunt lampa cu halogen și diodele electroluminiscente (LED-uri). Lămpile cu halogen necesită energie mare și nu sunt pe deplin adecvate pentru sistemele pe bord, în timp ce LED-urile au o eficiență energetică mai bună decât halogenii. Noi, în principal, intenționăm să utilizăm iluminare cu LED-uri din cauza consumului redus de energie și robusteții la funcționare. Se preconizează de către producătorii de LED-uri că până în 2015 să se ajungă la \$ 7.50 per kilolumen (<http://optics.org/indepth/2/6/4>). Această abordare va permite: Dispozitive mai ieftine; Utilizarea surselor de alimentare independente de vehicul, care permit funcționarea autonomă și, ca atare, instalarea pe vehicule nespecializate.

Lumina structurată este procesul de proiectare a unui model cunoscut de pixeli (de multe ori carioaj sau bare horizontale), pe o scenă/suprafață. Felul în care acest model se deformează atunci când se lovește de o suprafață permite să calculeze informațiile de adâncime și suprafață. Această nouă abordare este menită să înlocuiască scanerul tradițional cu laser 3D (bazate pe măsurarea timpului), care sunt utilizate în sistemele de monitorizare a pavajelor pentru achiziționarea de informațiilor legate de profil. Beneficiile luminii structurate versus scanerul cu laser 3D sunt:

- viteză și precizie. În loc de scanarea unui punct la un moment dat, scanerul cu lumină structurată scanează mai multe puncte sau întregul câmp vizual deodată. Scanarea întregului câmp vizual într-o fracțiune de secundă generează profile care sunt exponențial mai precise decât cele corespunzătoare scanerelor cu laser.
- reducerea semnificativă a costurilor [Cramariuc and Rusu, 2015].

2.4.5. Alți senzori

Subsistemul de achiziție a vibrațiilor vehiculului (prezentat în subcapitolul 2.5) folosește accelerometre integrate (MEMS), care măsoară vibrațiile în câteva puncte relevante: suspensia roților, extremele amortizoarelor, suportul motorului și habitaculul. În această etapă, limita accelerațiilor măsurate de accelerometre este fixată la $\pm 8g$, dar ea va fi ridicată la $18g$, în versiunea următoare a sistemului de achiziție. Semnalele de vibrații sînt utile pentru crearea unei hărți a denivelărilor drumului, ca și pentru detectarea zonelor cu pavaj alterat.

Giroscopul pentru obținerea informațiilor despre înclinarea drumului/sistemului de achiziție; datele de la accelerometru pot fi combinate cu datele de la GPS pentru a determina viteza vehiculului și utilizarea acestei informații pentru a compensa mișcările neregulate ale camerei datorate oscilațiilor vehiculului cauzate de neregularitățile rutiere, vânt, etc.; modulul GSM pentru comunicarea datelor în timp real prin SMS între platforma mobilă și centrul de date. Fuziunea informațiilor de la senzori este o altă provocare care trebuie luată în considerare. Aceasta presupune combinarea mai multor tehnologii de detectare pentru a scădea incertitudinile și a îmbunătăți fiabilitatea sistemului de detectare. Folosirea unui senzor de o anumită tehnologie pentru a compensa dezavantajele unui alt tip de senzor este o practică uzuală în aplicațiile de fuziune a senzorilor. O aplicație uzuală de fuziune în sistemele RMS implică o combinație a unui scanner laser sau radar cu sistemul de detectare din imagini. Fuziunea senzorilor oferă posibilitatea de a aduna

informații suplimentare care descriu mediul vehiculului și orice obstacole, dar sunt necesari algoritmi complecși pentru interpretarea datelor colectate.

2.4.6. Suport hardware pentru achiziție și prelucrare

Pentru *prelucrarea datelor pe teren/în timp real* vom folosi cât mai mult posibil componente PC COTS („common on the shelf” = produse de serie, gata disponibile la magazinele de specialitate), ca de exemplu plăci mini-ITX (Figura 5). Există mai multe aspecte atrăgătoare la plăcile de bază mini-ITX: dimensiuni (17x17 cm), pret, și performanțe. Un exemplu este un model recent de la Zotac (Zotac H67-ITX WiFi Intel H67 LGA1155 mini-ITX), care, la un preț de 100-150 de euro suportă procesoare puternice, ca de exemplu Intel Core i5/i7. În plus, placa Zotac are o gamă largă de conectori care pot fi utilizați pentru conectarea senzorilor noștri. Aceștia includ: 4 x USB2.0, 2 x USB3.0, Gigabit Ethernet, 1 x eSATA, etc.



Figura 5. Placa Zotac mini-ITX.

Analiza și stocarea datelor se va face pe un cluster de calculatoare, luând în considerare cerințele de calcul ale operațiilor și cantitatea de date care urmează să fie prelucrată și stocată. În prezent, cluster-ul care este proprietatea CITST cuprinde 64 de nuclee. Clusterul este construit din 8 servere HP DL165 G5 (2xAMD Opteron 2352 Quad-Core) interconectate prin două rețele InfiniBand și Gigabit Ethernet. În timpul acestui proiect vor fi adăugate la cluster mai multe noduri de calcul.

O alternativă la sistemele de achiziție de mare performanță este utilizarea unor module de dimensiuni mici, cu posibilitate de procesare redusă, dar care sînt ieftine, pot lucra cu camera proprie și pot realiza prelucrarea preliminară a imaginilor, sub sistemul de operare Linux. Aceste module au fost folosite în prima variantă a platformei experimentale. Modulele alese sînt Raspberry Pi, cu camera dedicată. Raspberry Pi (Figura 6) este o platformă de dezvoltare ce are la bază un cip Broadcom BCM 2835, incluzînd un procesor ARM1176JZF-S, cu o frecvență de 700 MHz, un procesor grafic VideoCore IV, cu memorie RAM de 512 MB. Proprietățile camerei: senzor OmniVision OV 5647, cu rezoluție pînă la 2592 x 1944 (5Mpixels) pentru fotografiere, iar pentru moduri video folosește FullHD (1080p), cu 30 cadre/sec., HD 720p cu 60 cadre/sec. sau, 480p cu 60-90 cadre/sec. Suprafața de imagine a senzorului este 3,76mm x 2,74mm; dimensiunea unui pixel este 1,4μm x 1,4 μm. În Figura 7 apar două exemple de imagini preluate în timpul experimentelor.



Figura 6. Platforma Raspberry Pi, utilizată într-un prim experiment.



Figura 7. Imagini preluate în primele experimente.

2.5. Achiziția de semnale de vibrații

Subsistemul de achiziție a semnalelor de vibrații face parte din platforma experimentală, cu care se vor valida rezultatele științifice. Acest subcapitol prezintă proprietățile sistemului și este preluat din lucrarea [Chiculiță și Frangu, 2015]. Proprietățile sale:

- măsoară vibrațiile în timpul mersului (nu pe un stand de probe);
- ușor de instalat pe un automobil uzual (nu pe un vehicul specializat);
- software ușor de manevrat;
- măsoară în 8 puncte din automobil;
- măsoară la niveluri diferite (de la articulația oscilantă a roții, pînă la motor și la scaunele pasagerilor);
- cost scăzut (pentru a putea fi replicat în mai multe exemplare și instalat pentru durate mari, pe mai multe vehicule).

2.5.1. Cerințe pentru sistemul de achiziție a datelor

Sistemul prezentat în [Chiculiță și Frangu, 2015] este ieftin și poate fi instalat pe un vehicul obișnuit, utilizat pentru evaluarea profilului drumului. Cerințele se referă atât la natura semnalelor măsurate cît și la implementarea hardware. Privitor la natura semnalelor măsurate, prima alegere este de a măsura accelerațiile cu senzori MEMS, deoarece acestea sînt foarte convenabile, ca preț și dimensiuni. Dimensiunea le face potrivite pentru măsurarea în spații înguste mici și inaccesibile, fără a perturba modul de vibrație mecanică a dispozitivului de testat (DUT = vehiculului). Principalele proprietăți ale semnalelor de accelerație măsurate sînt: frecvența maximă, amplitudinea maximă și rezoluția necesare, dintre care domeniul spectral este cea mai importantă. Vibrațiile care contează pentru evaluarea stării pavajului nu depășesc limita de 300Hz [2]. În acest sens, accelerometrele integrate oferă, de obicei, o bandă de 300 sau 400Hz, deci sînt convenabile pentru această sarcină. În consecință, este necesară o frecvență de eșantionare de peste 800Hz. În privința rezoluției de achiziție, trebuie observat că este de așteptat ca semnalele măsurate să fie foarte zgomotoase. Valorile instantanee sînt mai puțin importante decît proprietățile spectrale și de corelare ale secvențelor înregistrate. În consecință, o rezoluție a datelor măsurate pînă la 256 de valori discrete este suficientă pentru vibrațiile vehiculului. Accelerometrele cu ieșire digitală oferă, de obicei, cel puțin 8 biți, nivel satisfăcător pentru acest scop. În cazul senzorilor cu ieșire analogică, rezoluția este impusă de convertorul AD. Toate ADC, fie ele discrete sau integrate într-un microcontroler, oferă rezoluție mai mare de 8 biți. În fine, valorile maxime măsurate sînt în intervalul de 2g pentru scaune, 6g pentru caroserie, și 15g pentru suspensiile roților. Acestea sînt valori convenabile, deci un set de accelerometre integrate este potrivit pentru scopul sistemului proiectat.

Se poate considera și o altă opțiune, anume de a măsura poziții sau viteze, cu senzori adecvați [5]. Acestea sînt frecvent utilizate în aplicații industriale, pentru diagnostic și control, pentru că oferă bandă mare și precizie bună. Cu toate acestea, ele prezintă unele dezavantaje, pentru sistemul prezentat: dimensiunea, prețul și detaliile mecanice de fixare. În general, acești senzori măsoară poziția relativă sau viteza între două părți mobile ale vehiculului și trebuie să fie atașați la ambele părți. Două poziții măsurate posibile sînt lungimea amortizorului și poziția motorului, în raport cu caroseria mașinii. Măsurarea acestor variabile crează o dificultate mare la implementare, din cauza dimensiunilor și masei. Ar deveni imposibilă instalarea rapidă, indiferent de caroserie. Apoi, masa senzorilor va modifica modul de vibrație al mașinii. Prețul lor este, de asemenea, ridicat. Pentru motivele prezentate, senzorii de poziție și viteză nu sînt o soluție adecvată, astfel încît considerăm numai accelerometre MEMS.

Pentru hardware-ul sistemului, principalele cerințe se referă la: numărul și poziția senzorilor, masa senzorilor, viteza de comunicație a datelor, sensibilitatea la perturbații, consumul de energie, dimensiunea memoriei și resursele de procesare. Avînd în vedere prețul și dimensiunea redusă a accelerometrelor, se poate folosi un număr mare de senzori; aceștia pot fi chiar plasați definitiv pe vehicul, fără obligația de a fi mutați mai tîrziu. Pozițiile lor depind de informațiile care urmează să fie înregistrate. Pentru evaluarea confortului, un set de senzori ar trebui să fie pus pe scaunele și pe podeaua vehiculului, sau chiar să fie atașat la un pasager (un manechin ar putea înlocui pasagerul, pentru a evita influența mișcărilor inerente unui om). Pentru evaluarea stării pavajului, senzorii trebuie plasați cît mai aproape posibil de sursele de vibrații (suspensiile roților și motorul). Unele dintre aceste poziții sînt evidențiate prin săgețile din Figura 8, unde accelerațiile pot ajunge la 15g. Cu toate acestea, există și alte opțiuni, atunci cînd montarea rapidă este necesară, cum ar fi pe capătul de sus al amortizoarelor. În aceste cazuri, valorile extreme ale accelerației sînt mai mici (sub 6 g), dar identificarea profilului drumului devine mai nesigură, pentru că sistemul de amortizare este un puternic filtru trece-jos al vibrațiilor induse de pavaj. În oricare dintre cazurile descrise mai sus, distanțele dintre pozițiile senzorilor sînt de așteptat să depășească 3 metri. De exemplu, într-o mașină obișnuită, distanța dintre roata din față și roata din spate este mai mare decît 2,5m, iar distanța dintre laturi este de pînă la 2m.

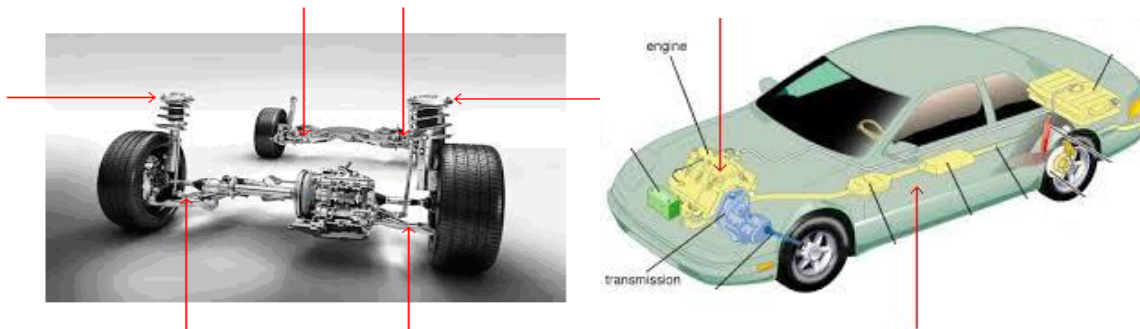


Figura 8. Poziții posibile ale senzorilor.

O evaluare aproximativă a cerințelor de memorie pentru înregistrarea datelor: 8 senzori x 1 kHz x 1 octet x 3600s = 28,8Mbytes/oră, presupunînd că nu are loc decît memorare (fără prelucrarea datelor). În fine, pentru discriminarea între diferitele

secțiuni de drum, care prezintă proprietăți statistice specifice ale pavajului, trebuie să fie măsurată poziția geografică. Aceasta este o sarcină simplă, efectuată de un receptor GPS.

2.5.2. Structura hardware și software

Proiectarea consideră separat sarcinile de achiziție de date și de procesare a semnalului, deoarece nu este plauzibil ca dispozitivele simple, utilizate pentru măsurare, vor fi capabile de a efectua și procesarea semnalelor. Pentru moment, un calculator obișnuit (laptop), realizează atât înregistrarea datelor măsurate, cât și procesarea semnalelor, deci trebuie evidențiată soluția pentru achiziția de date.

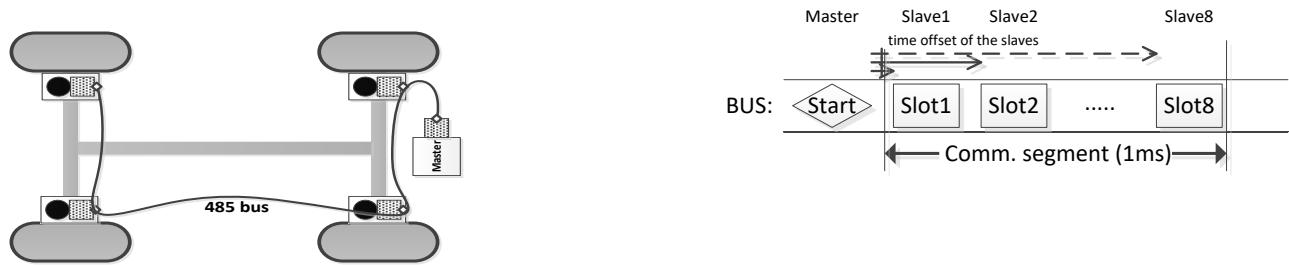


Figura 9. Structura rețelei de senzori și timing pe magistrală.

Dintre soluțiile posibile, prezentate în [Chiculiță și Frangu, 2015], a fost aleasă cea care folosește câte un microcontroler pentru fiecare senzor, plus un modul master, comunicația de date între ele se realizează pe magistrala RS485, iar masterul transmite date spre PC prin USB. Structura rețelei este prezentată în Figura 9.

Nodurile, adică perechi de un senzor și un microcontroler, sînt puncte de comunicație bidirecțională de pe magistrală. La adoptarea acestei arhitecturi, lungimea liniei se ridică la 10m sau mai mult, dar aceasta este o sarcină ușoară pentru RS485 [6]. Pentru a transfera datele fără erori, gestiunea timpului este esențială. Interogarea nodurilor începe cu semnalul "Sync / Start" trimis de master (cel care are dreptul la inițiativă pe magistrală). Acest semnal este primit simultan de către toate nodurile. Începînd de la momentul de start, fiecare nod are un interval de timp fixat (*timeslot*), în care poate trimite datele. Nodul face măsurările, apoi declanșează un timer propriu, a cărui durată este fixată prin ID-ul său. Atunci cînd timerul ajunge la final (începutul intervalului propriu, *timeslot*), nodul trimite setul de date la master. Acesta este compus dintr-un octet cu identificatorul nodului, un octet pentru tipul de pachet, suma de control și valorile accelerațiilor (pînă la 3 grade de libertate, pînă la doi octeți pentru fiecare eșantion). Identificatorul nodului este necesară deoarece, la partea de recepție, masterul poate să nu identifice sloturile de timp, de exemplu, în cazul în care datele sunt transferate la un PC, care va primi un flux continuu/asincron de date. Sloturile de timp nu acoperă integral timpul de emisie, între ele sînt lăsate intervale siguranță, contra erorilor de timing.

O evaluare a vitezei de comunicație pe magistrală trebuie să ia în considerare următoarele informații: un eșantion transmis de nod conține doi octeți de identificare și 2-6 octeți pentru accelerație, fiecare octet necesită transmiterea de 10 simboluri, frecvența de eșantionare este de 1000Hz și există 10 noduri. Deci, fluxul de date este de pînă la 700kbaud, dar intervalele de siguranță trebuie să fie adăugate la timpul de transmisie, care ne duce la o estimare aproximativă de 1 MBaud. Aceasta este viteza de semnalizare (*baudrate*) care e luată în considerare pentru proiectare, chiar dacă numărul de noduri sau frecvența de eșantionare pot fi reduse, ocazional. Nodul de măsurare conține un microcontroler, un accelerometru, un emițător-receptor și un regulator de tensiune. O diagramă bloc și o imagine a nodului de măsurare sînt prezentate în Figura 10. Senzorul ales este MMA8451Q: accelerometru digital, 3 axe, selectabil 14/8 biți, gamă maximă selectabilă de $\pm 8g$, capsulă QFN 16 pini. Banda utilă este 400Hz, frecvența de eșantionare 800Hz, timpul de la pornire la date active este 3,5ms. Comunicația cu microcontrolerul utilizează interfața I2C. În general, fișele tehnice ale accelerometrelor menționează o interdependență dintre cele trei semnale emise, corespunzătoare gradelor de libertate, care introduce o eroare. De obicei, semnalul de eroare pe fiecare direcție este mai mic de 1% din accelerația totală ([7]), ceea ce creează o eroare neglijabilă asupra rezultatelor finale, cum ar fi densitatea spectrală de amplitudine sau ponderile surselor de vibrații.

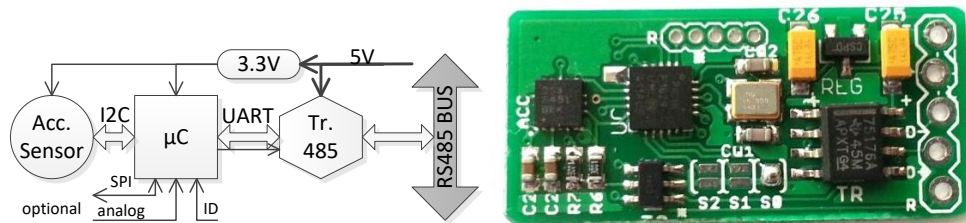


Figura 10. Schema bloc și imagine cu nodul de măsurare (15x30mm).

Microcontrolerul este PIC16F1829, avînd următoarele proprietăți: capsulă QFN cu 20 de pini, ieftin (\$ 1,5), viteza de execuție pînă la 8 MIPS - se poate folosi cu 32MHz oscilator intern sau cu cuarț 16MHz extern, memorie mare pentru sarcina simplă

efectuată (8K cuvinte program, 1K RAM) - în prezent se folosesc mai puțin de 20% din resursele disponibile. Alimentarea între 1,8V și 5V - am folosit varianta 3,3V. Are mai multe interfețe pentru senzori (SPI, I2C, analog). Interfața UART a microcontrolerului este utilizată pentru comunicația pe RS485 (emisie-recepție la 5V, cu SN75176, până la 5Mbit/s). Rata de transfer este setată la o valoare de 1 Mbaud, care poate fi obținută cu precizie pe toate nodurile din rețea, folosind oscilatorul selectat. Rata maximă de transfer atinsă de nodurile de măsurare este 8Mbaud, dar convertorul de pe dispozitivul master este limitat la doar 3Mbaud. Fiecare nod de măsurare are un cod de 3 biți (identitatea proprie în rețea), stabilit în hardware prin 3 jumperi lipiți, astfel încât, în configurarea curentă pot fi conectate maxim 8 noduri. În acest fel toate nodurile rulează același firmware, dar transmit în rețea în momente diferite. Nodul este alimentat cu +5V, din care este stabilizată tensiunea de 3,3V.

Masterul rețelei RS485 este conceput sub forma unui modul USB (dongle). Acesta primește datele de la nodurile de măsurare și convertește fluxul de date de la RS485 la USB. Tot el alimentează nodurile din rețea cu +5V și conține rezistențe de polarizare și de terminare (extremele magistralei) pentru RS485. Schema bloc și o imagine a modului sunt prezentate în Figura 11.

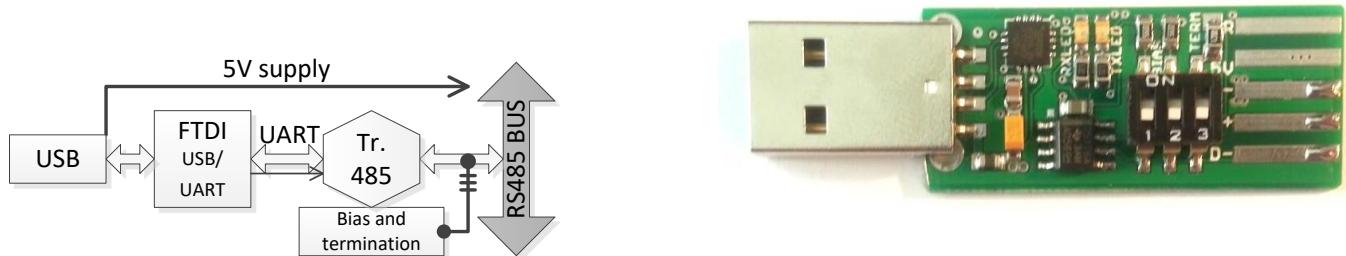


Figura 11. Schema bloc și imagine cu masterul magistralei (dongle USB - RS485).

Versiunea actuală a sistemului de achiziție de date și de prelucrare a semnalului este completată de un laptop obișnuit, ale cărui funcții sînt: sursă de alimentare pentru subsistemul de achiziție, transfer de date pe USB, înregistrare a datelor și prelucrare a datelor. Software-ul care rulează pe acesta efectuează recepția de date, stocare și prelucrare. Se efectuează, de asemenea, înregistrare de date de la un GPS, cu scopul de a discrimina zonele în care s-au măsurat semnalele de vibrații. În cazul în care un laptop se dovedește a fi o soluție prea voluminoasă, poate fi proiectată a altă versiune, bazată pe un DSP puternic. Alegerea sa depinde de opțiunea de a face sau nu prelucrarea semnalelor în timp real.

Deoarece modulul master folosește un circuit cunoscut de interfațare UART/USB, el îi apare sistemului de operare ca un port serial uzual, cu driver standard, ceea ce permite o mare flexibilitate în selectarea aplicației software. Aplicația PC este scrisă în limbajul Python deoarece oferă portabilitate mare și o modalitate ușoară de a utiliza același cod sursă pe diferite platforme [8]. Testele inițiale au fost efectuate pe un sistem de operare Windows, rulînd pe un laptop, dar software-ul se poate executa, de asemenea, pe un sistem de operare Linux care rulează pe o platformă încorporată.

Aplicația PC identifică în primul rînd portul serial la care este atașat modulul dongle, apoi trimite un mesaj prin care solicită tuturor nodurilor numărul versiunii firmware. Fiecare nod răspunde cu un mesaj prin care aplicația PC să afle numărul de noduri prezente și versiunea lor firmware. Apoi, aplicația transmite către noduri comanda de start achiziție a 1000 de eșantioane și începe primirea pachetelor. Din fiecare pachet, este identificat nodul sursă, este calculată suma de control, pentru a verifica integritatea mesajului, și apoi se extrag datele utile, care sînt transformate în unități de accelerație și salvate în fișiere separate pentru fiecare nod. Cînd au fost primite toate datele (1000 eșantioane, înmulțite cu numărul de noduri), o nouă comandă de start achiziție este transmisă de master, iar procesul se repetă pînă cînd se obține numărul de eșantioane necesare. În prezent, datele sînt luate în loturi mici de cîteva secunde, apoi salvate în fișiere care pot fi folosite imediat de către un software de nivel superior (de exemplu, Matlab) pentru analiza offline. În versiunea următoare, în cazul în care masterul va fi o platformă încorporată, datele obținute vor fi prelucrate on-line.

2.5.3. Rezultate experimentale

Sistemul de achiziție a fost construit în forma prezentată în Figura 10 și Figura 11. Au fost fabricate 8 noduri de măsurare și un nod master, pe cablaje de dimensiuni mici și cu componente SMD, o tehnologie deja verificată. Nodurile sînt conectate la modulul master prin cablu flexibil de 4 fire. Masterul este conectat la laptop cu cablul USB, care furnizează și alimentarea. Comunicația de date pe RS485 a fost testată în condiții normale de trafic. Sistemul a fost montat pe un automobil uzual, pentru a măsura accelerațiile pe capetele de sus și de jos ale amortizoarelor, lîngă motor și pe un scaun. O figură sugestivă a locurilor de amplasare a senzorilor de accelerație este dată în Figura 12.

Primele teste au fost efectuate cu automobilul rulînd pe un drum neted, la viteze de 20-60 km/h, apoi pe drumuri cu pavaj alterat. Calculatorul a înregistrat secvențe din semnalele de vibrații, cu durate între 3s și 1min. Validarea datelor înregistrate a fost realizată prin extragerea parametrilor deplasării, prin mai mulți algoritmi de prelucrare. Ca un exemplu, în Figura 13 este prezentat rezultatul funcției de intercorelație, calculată între semnalele date de senzorii instalați pe capătul de sus al amortizoarelor, pe stînga vehiculului. Decalarea în timp, corespunzînd cu maximumul funcției, este de 320ms, ceea ce duce la o viteză de 8,1m/s, știind că distanța dintre roți este de 2,6m. Fenomenul cvasiperiodic vizibil în figură este produs de vîzeta de rotație a arborelui motorului. Perioada sa este de 50ms, ceea ce duce la o turație de 20Hz (1200 rot/min).

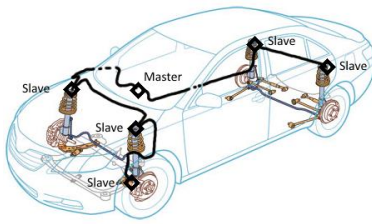


Figura 12. Pozițiile unor noduri de măsurare și modulului master.

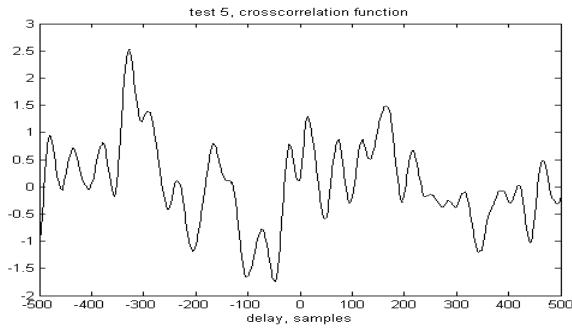


Figura 13. Funcția de intercorelație între semnalele provenind de la senzorii din față și din spate.

Aceste valori au fost comparate cu valorile măsurate în timpul experimentului. Variabilele măsurate au fost folosite și pentru a determina modelul dinamic al automobilului. În Figura 14 este prezentată înregistrarea pornirii vehiculului, care pune în evidență zgomotul mic din timpul staționării, vibrațiile produse de electromotor și pornirea motorului termic. Figura 15 exemplifică proprietățile semnalului de vibrații la mers lin, pe pavaj foarte neted (energia concentrată numai în vibrațiile motorului).

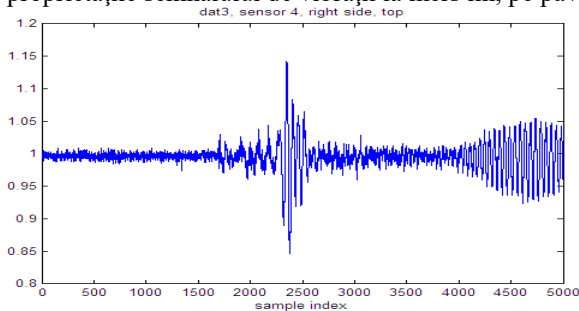


Figura 14. Vibrații la pornire.

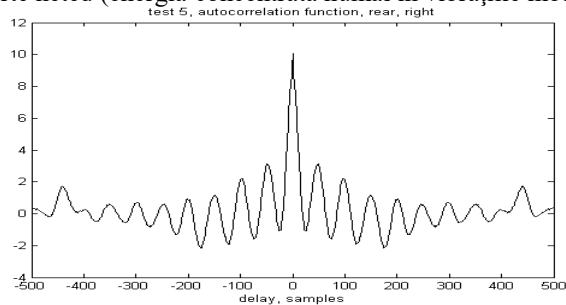


Figura 15. Funcția de autocorelație, mers lin.

În concluzie, subsistemul prezentat măsoară accelerațiile din vehicul, în 8 puncte, pînă la limita de 8g și cu limita de sus a benzii la 400Hz. Modulele de măsurare sînt ieftine, de dimensiune și masă mici, ușor de amplasat în vehicule uzuale, insensibile la perturbații electrice și nu modifică modul de vibrație mecanică al vehiculului. Datele sînt salvate și procesate într-un laptop uzual, care furnizează și alimentarea senzorilor. Primele teste au demonstrat funcționalitatea sistemului și au deschis posibilitatea de evaluare on-line a proprietăților pavajului și stării vehiculului. Activitatea viitoare va include extinderea la accelerații de pînă la 18g și dezvoltarea software-ului de prelucrare.

3. Procesarea și prelucrarea imaginilor din teren

3.1. Prelucrarea și marcarea imaginilor

În aceasta etapă, cercetarile UVT (P3) au fost directionate spre segmentarea imaginilor cu sosele și extragerea suprafeței asfaltate și a dezvoltării de algoritmi de marcarea reversibilă care să permită pentru inserția informației extrase după segmentare chiar în imaginile din care au fost extrase. Menționăm în acest sens un dezvoltarea unui algoritm original de binarizare și dezvoltarea de algoritmi de marcarea reversibilă. Algoritmii noștri permit inserția atât a metadatelor (informații cu privire la achiziția imaginii gen timp și coordonate exacte, etc.) cât și adnotarea imaginilor cu date asupra localizării suprafeței asfaltate și a defectelor. Faptul că marcarea reversibilă permite extragerea informației inserate și recuperarea exactă a imaginii gazda este de interes atât pentru baza de date cu imagini adnotate cât și pentru fuzionarea on line a imaginilor cu metadate.

În vederea analizei suprafeței de asfalt a drumurilor, prima problemă este segmentarea imaginilor. Metoda cea mai simplă de segmentare este de a binariza imaginea cu nivele de gri. Testele noastre pe diferite imagini au arătat că binarizarea directă pe imaginea luminantă nu conduce la rezultate satisfăcătoare. Suprafețele acoperite cu asfalt din imaginile color au culoarea gri. Acest aspect ne-a determinat să considerăm pentru binarizare nu simpla imagine luminantă, ci să construim o imagine care să permită evidențierea culorii gri, sau mai precis, a abaterii de la gri a imaginii. Imaginea propusă se obține ca :

$$I(x,y)=|R(x,y)-M(x,y)|^p+|G(x,y)-M(x,y)|^p+|B(x,y)-M(x,y)|^p$$

unde $R(x,y)$, $G(x,y)$, $B(x,y)$ sunt cele 3 plane de culoare, $M(x,y)$ este media celor 3 plane de culoare, iar p este un număr mai mare decât zero. La culoarea gri, $R(x,y)$, $G(x,y)$, $B(x,y)$ ne așteptăm să fie aproximativ egale și egale și cu media $M(x,y)$, iar $I(x,y)$ să ia o valoare apropiată de zero. Întrucât culoarea suprafeței de asfalt se abate de la gri (de multe ori am constatat o dominantă albastră), suprafața asfaltată în imaginea cu nivele de gri poate să fie mai luminoasă decât ne așteptăm. Chiar și în aceste condiții, suprafața asfaltată conduce la o modă ușor de evidențiat în histograma imaginii și permite o detectare automată a pragurilor pentru binarizare. Mai menționăm că Introducerea lui p ne permite reglarea fină a imaginii $I(x,y)$.

Suprafata de asfalt este delimitata fie de marcate tip linie continua sau intrerupta fie, in situatia in care aceste marcate lipsesc, de contururile naturale. Atat marcatele cat si contururile au forma dominant liniara. Aceasta observatie conduce la ideea de a extrage linii pentru a demarca drumurile din imagini. Un instrument foarte eficace pentru detectia de drepte este transformarea Hough. Dreptele obtinute prin transformare Hough sunt imediat prelungite prin continuitate rezolvand astfel si marcatele tip linie intrerupta. Testele noastre cu transformata Hough arata o buna delimitare a drumului.

Din fuziunea imaginii binare cu dreptele extrase dupa prelucrarea transformatei Hough se obtine o masca care va fi inserata in imaginile originale prin marcare reversibila. Pe langa masca, trebuie sa ramana suficient loc pentru a insera metadatele tip alfanumeric si defectele ce urmeaza sa fie detectate in etapa urmatoare. Un exemplu de construire a mastii este prezentat in Figura 16 - Figura 20. Cercetarile asupra extragerii mastii drumului asfaltat constituie subiectul unui articol care va fi submis in primul trimestru al anului viitor la o conferinta cunoscuta uin domeniu (EUSIPCO, ICIP, etc.).

In continuare prezentam rezultatele obtinute in aceasta etapa la imbunatatirea algoritmilor de marcare reversibila. In [Dragoi and Coltuc, 2015a], propunem o implementare rapida a algoritmului de insertie bazat pe predictie locala, algoritm publicat de noi in IEEE Trans. on Image Processing nr. 4, 2014. Ideea de baza a acestui algoritmi este calculul unui predictor distinct pentru fiecare pixel. Astfel, se calculeaza intr-un bloc centrat pe pixel predictorul liniar optim care minimizeaza eroarea patrata. Aspectul cel mai interesant este ca acelasi predictor se regaseste la detectie, fara a necesita nicio informatie suplimentara. Pentru a regasi predictorul, blocul trebuie recuperat identic, ceea ce se obtine printr-o schema ingenioasa de a elimina pixelul curent si de a inlocui (in contextul de predictie pentru pixelii vecini) valoarea sa printr-o valoare estimata (folosind un predictor fix). Algoritmul de marcare bazat pe predictie locala are performante deosebite. Din cercetarile noastre, se constata ca algoritmul bazat pe predictie locala depaseste semnificativ (3-6 dB) tot ceea ce s-a publicat pana in prezent in literatura. Algoritmul nostru este depasit deocamdata doar in cazul mai putin interesant al capacitatilor foarte mici (sub 0,05 biti pe pixel). Un dezavantaj al algoritmului este complexitatea matematica relativ ridicata. In [Dragoi and Coltuc, 2015a] propunem o implementare rapida care reduce complexitatea calculului la un sfert fara o pierdere semnificativa de performanta. Ideea propusa este de a calcula nu un predictor pentru fiecare pixel, ci un predictor pentru un grup de pixeli. Aspectul interesant este gruparea pixelilor. Astfel, pentru contextul romb care se dovedeste a da rezultatele cele mai bune, testele noastre au aratat ca pixelii trebuie grupati liniar in directia coloanelor (sau liniilor). Gruparea pixelilor impune modificarea setului de invatare pentru a putea, la detectie, regasi aceleasi date pentru a recalcula predictorul.

Schema noastra cu predictie locala este depasita la capacitati foarte mici de algoritmul cu insertie in perechi de pixeli propus de Bo Ou et al, IEEE Trans. on Image Processing, 2013. Ideea interesanta adusa de algoritmul lui Bo Ou este de a insera in loc de 2 biti pe pereche, respectiv perechile de date (0,0), (0,1), (1,0) si (1,1), doar primele 3 combinatii, renuntand la perechea (1,1). Pierderea in capacitate la inserta a $\log_2 3$ biti in loc de 2 este compensata de castigul in calitate, intrucat schema introduce o eroare patrata de maximum 1 nivel de gri pe pereche. In [Dragoi et all, 2015], pastram insertia pe perechi cu $\log_2 3$ biti, dar introducem o grupare diferita care permite obtinerea unor rezultate imbunatatite. In prezent dezvoltam si o noua schema de grupare adaptiva care estimam ca va depasi toate schemele publicate pentru capacitati mici de insertie. Tot pentru capacitati mici, insa pentru imagini color este schema de insertie [Udroiu and Coltuc, 2015]. La capacitati mici, rezultate bune sunt furnizate de algoritmii de marcare cu translatore de histograma. La acesti algoritmi se cauta cele doua praguri care furnizeaza capacitatea ceruta la distorsiune minima. Noi am propus partitionarea histogramei unice in K histograme si, in loc de a cauta doua praguri, cautam cele 2K praguri astfel incat sa minimizam distorsiunea. Intre ingredientele originale mentionam partitionarea pe baza contextului si utilizarea programarii liniare pentru alegerea pragurilor optime. In [Udroiu and Coltuc, 2015], acest mecanism este aplicat la imagini color, optimizand alegerea pragurilor simultan pentru cele 3 plane de culoare. Mentionam ca marcarea imaginilor color este putin abordata in literatura.

Un usor castig in calitate il aduce algoritmul propus in [Dragoi and Coltuc, 2015b], algoritm care propune un nou predictor, dar si o impartire a marcarii in 4 etape distinct. In fine, in [Nedelcu et all, 2015] si [Nedelcu and Coltuc, 2015] propunem o formula noua de expandare a diferentei. Ecuatia modificata permite si inserarea in unii pixeli unde, cu formula clasica se ajunge la depasiri si, implicit nu se pot insera date. Castigul in capacitate este, din nefericire, insotit de o crestere semnificativa a distorsiunilor.

Un articol asupra insertie in imagini a metadatelor asupra achizitiei, a mastilor si a defectelor detectate va fi publicat in anul urmator.



Figura 16. Imagine originala.

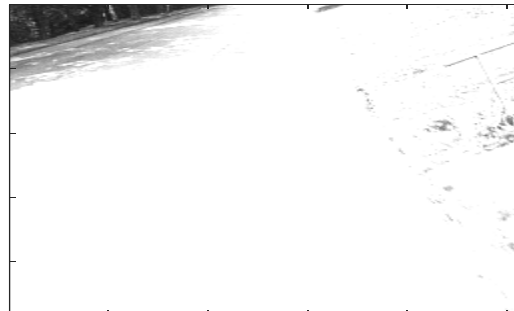


Figura 17. Binarizare luminanta.



Figura 18. Imagine abatere de la gri.

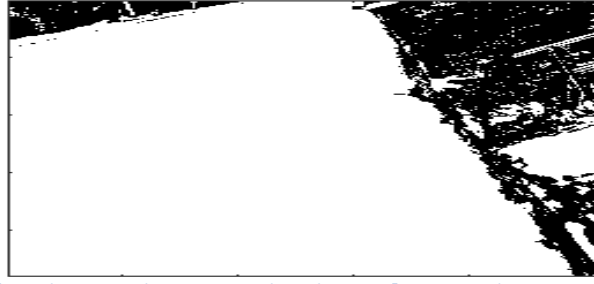


Figura 19. Binarizare abatere gri.



Figura 20. Extragere drepte (Transf. Hough).

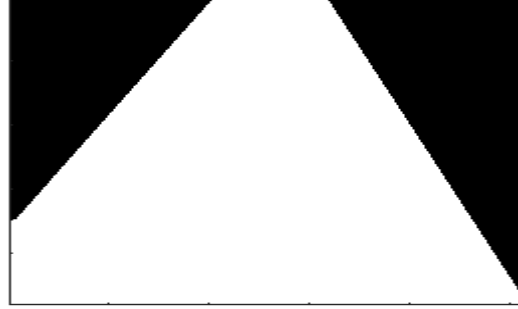


Figura 21. Masca drum.

3.2. Separarea surselor de vibrații originale, din semnalele înregistrate

Acest subcapitol prezintă o metodă de separare a surselor de vibrații, bazată pe algoritmi genetici, și propusă în [Popa și Frangu, 2015]. Scopul este descompunerea unor semnale acustice mixate în componentele lor independente. În contextul grantului PAV3M, sursele semnalelor primare sînt motorul, sistemul de transmisie și vibrațiile induse de pavaj, prin interacțiunea cu roțile. Vibrațiile provenind de la pavaj sînt utile pentru clasificarea drumului și pentru harta denivelărilor. Deși, pentru scopul prezentat, semnalele provenind de la motor trebuie eliminate, ele sînt utile în alt scop (diagnoza mașinii), deci descompunerea semnalului de vibrații este utilă în mai multe cazuri. Algoritmul genetic a fost implementat în două variante, avînd aceeași structură, dar cu funcții de evaluare diferite. În prima variantă am folosit proprietățile statistice date de o versiune normalizată a momentului de ordin patru al densității de probabilitate a semnalului, numită coeficient de aplatizare (*kurtosis* în limba engleză). A doua variantă folosește o funcție de evaluare originală, care reflectă topologia punctelor din planul amplitudinilor celor două semnale mixate. Cei doi algoritmi au fost comparați cu alți doi algoritmi clasici destinați separării semnalelor în componente independente (*ICA*, *Independent Component Analysis* în limba engleză). Pentru testare am folosit diferite semnale audio, sunete muzicale sau voci, dar se pot folosi și alte semnale acustice, cum ar fi vibrații mecanice generate de autovehicule sau alte zgomote din medii industriale.

3.2.1. Formularea problemei descompunerii

Problema descompunerii face parte din clasa de probleme numită *Blind Source Separation*. Formularea ei, într-un caz simplu, este ilustrată de ec. (1) și (2), în care semnalele primare sînt notate s , iar mixturile sînt notate x . Experimentatorul are la dispoziție doar înregistrările semnalelor mixturi. Coeficienții a , b , c , d , sînt necunoscuți, ei au intervenit în amestecul fizic al semnalelor. În mod intenționat, a fost neglijată prezența zgomotului aditiv, în ec. (3.2.1). Problema este de a determina coeficienții α , β , γ , δ (ei formează matricea de demixare, $\mathbf{W}$), prin care pot fi recuperate semnalele primare, ca în ec. (3.2.2).

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} \quad (3.2.1)$$

$$\begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (3.2.2)$$

Metoda *ICA* (*Independent Component Analysis*), pornește de la premiza că semnalele primare sînt independente statistic. Lucrarea [3] descrie algoritmul *PPGA* (*Projection Pursuit Gradient Ascent*) care utilizează gradientul coeficientului de aplatizare față de un vector de demixare $\mathbf{W}$ (pentru un singur semnal, s). Folosirea coeficientului de aplatizare (*kurtosis*, în limba engleză) este metoda clasică de detectare a lipsei distribuției gaussiene. Coeficientul de aplatizare a semnalului extras s , notat prin $kurt(s)$ este:

$$kurt(s) = \frac{E[(\bar{s} - s)^4]}{(E[(\bar{s} - s)^2])^2} - 3 \quad (3.2.3)$$

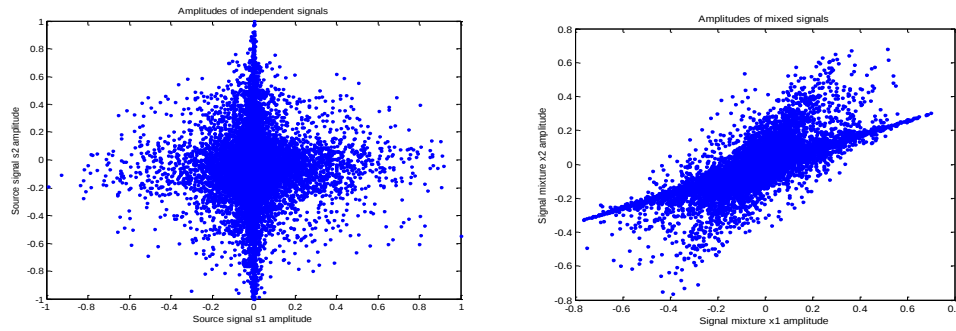


Figura 22. Reprezentarea semnalelor din surse independente și a celor mixate, în planul amplitudinilor.

În Figura 22 apare reprezentarea în plan a eșantioanelor celor două surse primare, considerate independente, precum și reprezentarea eșantioanelor mixturilor, care nu sînt independente statistic (rezultatul mixării din ec. (3.2.1)).

Abordarea din algoritmul ICA Bell-Sejnowski (BSICA) se bazează pe maximizarea entropiei semnalelor extrase $\mathbf{Y}$ (aproximarea semnalelor primare $\mathbf{s}$). Există multe alte variante, dar numai cele două amintite au fost folosite, ca termen de comparație cu metoda propusă în lucrare.

3.2.2. Metoda propusă, bazată pe algoritmi genetici

Noua abordare folosește un algoritm genetic, în varianta clasică. Algoritmul este o paradigmă biologică, în care o populație de soluții evoluează, în generații succesive, prin încrucișări și mutații. Algoritmul caută soluția problemei de optimizare, în mulțimea de soluții posibile, din generațiile succesive, prin evaluarea calității soluției. Funcția de evaluare este cheia metodei, întrucît ea arată cît de aproape este fiecare soluție de obiectivul de optimizare formulat inițial. Denumirea soluției, în această abordare, este de *cromozom*, iar parametrii soluției se numesc *gene*. Derularea unui algoritm clasic este cea prezentată mai jos [5].

Pseudocode for the GA

```

Input:  $Population_{size}$  ,  $Problem_{size}$  ,  $P_{crossover}$  ,  $P_{mutation}$ 
Output:  $S_{best}$ 
1 Population  $\leftarrow$  InitializePopulation ( $Population_{size}$  ,  $Problem_{size}$  );
2 EvaluatePopulation(Population);
3  $S_{best} \leftarrow$  GetBestSolution(Population);
4 while  $\neg$  StopCondition ( ) do
5     Parents  $\leftarrow$  SelectParents(Population,  $Population_{size}$  );
6     Children  $\leftarrow \emptyset$  ;
7     foreach  $Parent_1, Parent_2 \in$  Parents do
8          $Child_1, Child_2 \leftarrow$  Crossover( $Parent_1, Parent_2, P_{crossover}$ );
9         Children  $\leftarrow$  Mutate( $Child_1, P_{mutation}$ );
10        Children  $\leftarrow$  Mutate( $Child_2, P_{mutation}$ );
11    end
12    EvaluatePopulation(Children);
13     $S_{best} \leftarrow$  GetBestSolution(Children);
14    Population  $\leftarrow$  Replace (Population , Children);
15 end
16 return  $S_{best}$  ;

```

În acest context, soluția este matricea de demixare $\mathbf{W}$, cu coeficienții din ec. (3.2.2). Cei patru coeficienți se codifică pe 32 de biți, adică cîte 8 biți pentru fiecare coeficient. Am folosit o populație de 50 de cromozomi, 10 dintre ei fiind înlocuiți la fiecare generație. Probabilitatea de încrucișare este de 80% pe cromozom, iar cea de mutație de 5% pe genă. Experimentele au arătat că algoritmi converg în mai puțin de 100 de generații.

Definirea funcției de evaluare este esențială în rezolvarea cu succes a problemelor reale de optimizare. În corpul algoritmului, funcția de evaluare este apelată de două ori (vezi liniile 2 și 12 ale pseudocodului care definește structura algoritmului genetic). Au fost luate în considerare două variante pentru funcția de evaluare, variante descrise în continuare.

Varianta 1. Funcția de evaluare prin folosirea coeficientului de aplatizare

În acest caz, funcția de evaluare este coeficientul de aplatizare, definit în (3.2.3). Algoritmul caută extremizarea coeficientului, astfel încît distribuția din Figura 22 (stanga) să evolueze spre cea din Figura 22 (dreapta).

Varianta 2. Funcția de evaluare prin folosirea geometriei punctelor

În acest caz, evaluarea se bazează pe distribuția geometrică a eșantioanelor reprezentate în Figura 22. Funcția de evaluare definită de noi permite refacerea unui singur semnal. Pentru o distribuție a punctelor pe axa verticală, calculăm suma coordonatelor punctelor pe cele două axe, x și y , iar apoi minimizăm funcția $\arctg(\text{sum}(x)/\text{sum}(y))$. Procedura este repetată și pentru axa orizontală, ceea ce înseamnă că refacerea celor două semnale se face în doi pași (similar cu unii algoritmi din metodele ICA clasice). Considerăm că nu există nicio restricție la a face evaluarea într-un singur pas, dar nu am formulat încă o funcție de evaluare convenabilă. Credem că acest lucru este posibil și vom încerca modificarea funcției de evaluare într-o versiune viitoare a lucrării.

3.2.3. Rezultate experimentale

Toți acești algoritmi testați au fost implementați în Matlab și au fost testați folosind diferite semnale audio și de vibrații. Figura 23 prezintă evoluția algoritmului genetic care folosește ca evaluare geometria punctelor în 100 de generații. Figura 24 prezintă geometria punctelor pentru semnalul restaurat corespunzătoare axei verticale.

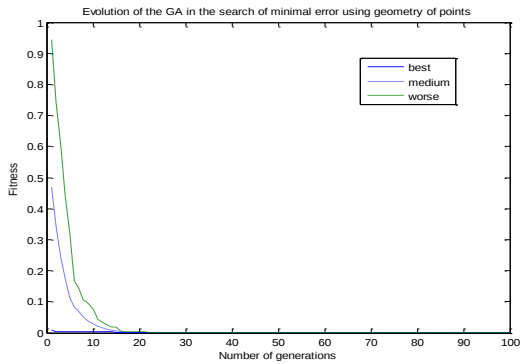


Figura 23. Evoluția algoritmului genetic folosind topologia punctelor ca funcție de evaluare.

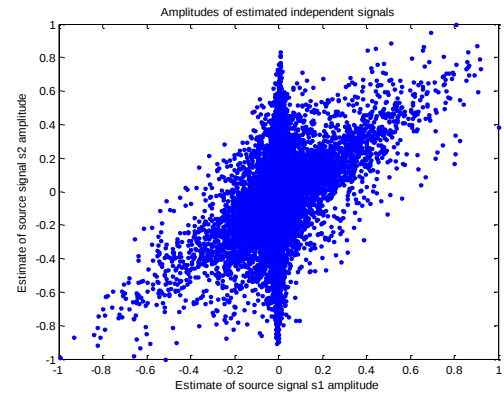


Figura 24. Représentarea geometrică a semnalului refăcut s1 (punctele sînt distribuite pe axa verticală).

Algoritmul genetic care folosește valoarea coeficientului de aplatizare ca funcție de evaluare este notat prescurtat cu GA_ICA_K , iar cel care folosește topologia punctelor în planul amplitudinilor este notat GA_ICA_T . Amîndoi algoritmi refac semnalele în doi pași. Pentru comparație, am implementat și doi algoritmi ICA clasici dintre care unul refac ambele semnale originale într-un singur pas, iar al doilea în doi pași.

Tabelul II reprezintă erorile dintre semnalele originale și cele refăcute pentru toți cei patru algoritmi studiați. Eroarea maximă este definită ca fiind modulul diferenței maxime dintre două eșantioane corespondente din semnal, iar eroarea medie, evident mai semnificativă, reprezintă o mediere a diferențelor dintre toate eșantioanele celor două semnale. Pentru GA_ICA_K eroarea maximă este mare, dar cea medie este ceva mai mare de 2%. Ultima coloană din tabel conține un timp mediu de rulare pentru fiecare din cei patru algoritmi.

TABLE I. ERRORS AND RUNNING TIMES

Algorithm	Maximum error	Medium error	Medium error[%]	Time [s]
PPGA	0.0027	4.3023×10^{-4}	0.043	0.811
BSICA (s1)	0.1180	0.0191	1.91	0.418
BSICA (s2)	0.0607	0.0031	0.31	0.418
GA_ICA_K	0.4287	0.0220	2.20	86.760
GA_ICA_T	0.0026	4.1722×10^{-4}	0.042	2.726

Am rulat programele în mediul Matlab, folosind funcția *kurtosis* din toolbox-ul *Statistics*, pe un desktop cu procesor Intel Core 2 Duo CPU E6550 la 2.33 GHz. Timpul de rulare excesiv de mare obținut pentru algoritmul GA_ICA_K se datorează apelării repetate a funcției *kurtosis*, pentru fiecare cromozom din populație (linia 12 din algoritmul citat mai sus).

Analizînd rezultatele experimentale obținute, se observă că folosirea algoritmilor genetici pentru rezolvarea problemelor practice de descompunere în componente independente (ICA) este o metodă fezabilă, aplicabilă chiar și în cazul existenței unui număr redus de eșantioane, situație în care avem o estimare statistică necorespunzătoare pentru aplicarea metodelor statistice [6]. Proprietățile semnalelor de vibrații ale vehiculului permit aplicarea acestei metode, ceea ce va fi experimentat în etapa următoare.

3.3. Segmentare cu "watershed"

În general, pentru segmentarea imaginilor ar putea fi urmărit traseul șoselelor. Din păcate, această abordare nu este suficient de robustă; pe multe drumuri marcajele pentru linia din mijloc (cea care separă benzile) precum și liniile de demarcație de margine nu sunt vizibile.

Prima abordare propusă constă în utilizarea algoritmului *watershed* cu markeri predefiniți. Pentru a implementa algoritmul *watershed* este necesar să avem la dispoziție o imagine cu nivele de gri. La acest algoritm valorile de gri ale imaginii vor fi considerate ca fiind vârfurile, respectiv văile unui teren topografic asociat imaginii. Pentru aceasta, vom începe prin a converti imaginea color

obținută la achiziție într-o imagine cu nivele de gri. Ulterior se aplică metoda lui Otsu fixând anumite praguri pentru imagine și, astfel, pentru a obține pixelii celulelor. În mod obișnuit metoda lui Otsu caută o valoare de prag care maximizează varianța dintre două grupuri: prim-plan și fundal, astfel încât această valoare de prag poate segmenta mai bine cele două grupuri.

Pentru diferite valori de prag acest proces de aflare a varianței între și dintre grupuri, se repetă. Până la urmă, valoarea de prag care maximizează varianța între și dintre grupuri este considerată pragul Otsu. Totuș pixelilor ale caror intensități sunt mai mici decât valoarea de prag li se atribuie valoarea zero; tuturor pixelilor ale căror intensități sunt mai mari decât valoarea de prag, li se atribuie valoarea unu.

Următoarea operație este eroziunea. Aceasta este utilizată pentru îngustarea obiectelor dintr-o imagine prin înlăturarea pixelilor care sunt pe marginea respectivului obiect. Astfel se vor obține pixelii care sunt cei mai departe de pixelii din fundal și pentru care este garantat că se găsesc în prim-plan.

Toți pixelii dintr-o regiune care sunt conectați vor primi aceeași valoare, iar procesul respectiv se numește etichetare. Imaginea etichetată este utilizată ca și o imagine marker. Etichetarea este utilizată la identificarea obiectelor dintr-o imagine. Pentru fiecare regiune dintr-o imagine marker, pixelii săi vecini sunt aranjați într-o listă, ordonată după nivelele lor de gri. Pixelul cu cel mai ridicat nivel de gri este comparat cu eticheta regiunii. Dacă pixelii din regiunea etichetată au același nivel de gri ca și pixelul dat, atunci pixelul este inclus în regiunea etichetată. Ulterior, o nouă listă ordonată este alcătuită, împreună cu vecinii săi. Prin acest demers se asigură dezvoltarea regiunii etichetate. Pasul este repetat până când nu mai sunt elemente în listă [1].

3.3.1. Rezultate experimentale

O versiune prototip a algoritmului prezentat anterior a fost implementat utilizând algoritmi morfologici și diverse instrucțiuni Python. S-a obținut o funcție *watershed* de obținere a imaginii marker. Imaginea originală utilizată pentru exemplificarea algoritmului implementat este prezentată în Figura 25. Ulterior imaginea a fost convertită în nivele de gri și apoi imaginea a fost prelucrată cu valorile de prag (metoda Otsu) pentru a obține pixelii din prim-plan (Figura 26).



Figura 25. Imaginea de intrare.



Figura 26. Imaginea cu prag, după aplicarea metodei lui Otsu.

Pentru a fi siguri că avem pixeli de prim-plan garantați, se aplică operatorul de eroziune (Figura 27). Apoi, se aplică o transformare de distanță, amintită anterior, astfel că în Figura 28 se obține imaginea marker.



Figura 27. Imaginea după eroziune.



Figura 28. Imaginea marker.

La final, imaginea marker este utilizată în *watershed* pentru a obține imaginea din Figura 29. Intrările funcției *watershed* sunt imaginea de intrare, precum și imaginea marker. Pentru cadre video, intrările sunt de fapt cadre video care sunt extrase și salvate ca și imagini. Această funcție este disponibilă în modulul OpenCV din Python.

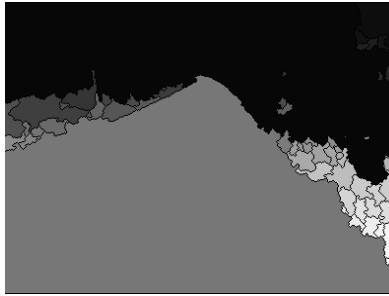


Figura 29. Imaginea de ieșire watershed.

3.4. Segmentare cu scheletizare

În această abordare, pașii utilizați pentru a detecta gropile din drumuri sunt următorii [2]:

- imaginea inițială este decupată prin algoritmul de extragere a drumului (regiunea de inetres cu gropi și crăpături);
- înlăturarea zgomotului din imaginea originală prin utilizarea unui filtru gaussian;
- simplificarea imaginii originale cu metoda Otsu;
- aplicarea operației morfologice de scheletizare.

Imaginea inițială este achiziționată în condițiile de expunere precizate în Tabelul 1. Imaginea este decupată la 50% din înălțime; astfel se înlătură părțile de sus din imagine, adică cerul și mediul natural din fundal. De asemenea, se decupează 40% din lărgime, prin înlăturarea a câte 20% de pe fiecare parte. Decuparea s-a realizat cu funcția *crop* disponibilă în modulul OpenCV din Python. Apoi, se utilizează alte funcții din biblioteca Python precum: *scipy.fftpack*, ori *fftim*, astfel că imaginea este convertită în nivele de gri. Pentru calculul transformatei Fourier rapide se aplica funcția Python *fftim*, iar ulterior se calculează convoluția cu filtru gaussian trece-jos și, pentru înlăturarea zgomotului, se calculează distanța euclidiană de la origine și o rază de tăiere ca să se elimine frecvențele înalte. Pasul următor constă în convoluția modulului inversei transformatei Fourier. Cum operatorul de netezire formează convoluția cu filtrul gaussian trece-jos, ieșirea va fi mai puțin neclară în comparație cu utilizarea unui filtru ideal trece-jos sau un filtru Butterworth trece-jos.

Pasul următor constă în aplicarea metodei Otsu, descrisă în secțiunea anterioară. Procesul de aplicare de mai multe ori a operației de subțiere, astfel încât doar pixelii conectați să fie reținuți, se numește scheletizare. Aceasta este o formă de eroziune prin care mulți dintre pixelii din prim-plan sunt înlăturați și rămân doar pixelii conectați.

3.3.2. Rezultate experimentale

Imaginea inițială care urmează a fi prelucrată este prezentată în Figura 30, iar după decupare arată ca în Figura 31. Ulterior imaginea obținută după decupare este procesată printr-un filtru gaussian trece-jos cu scopul de a simplifica imaginea și de a înlătura zgomotul (Figura 32). Pentru binarizare se aplică metoda lui Otsu, iar rezultatul este expus în Figura 33. În final se aplică algoritmul de scheletizare imaginii binarizate, iar imaginea este afișată în Figura 34.



Figura 30. Imaginea de intrare originală.



Figura 31. Imaginea de intrare decupată.

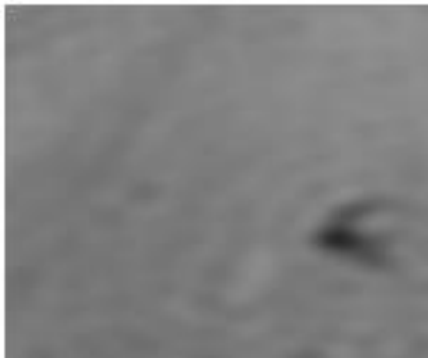


Figura 32. Imaginea obținută după aplicarea unui filtru gaussian.

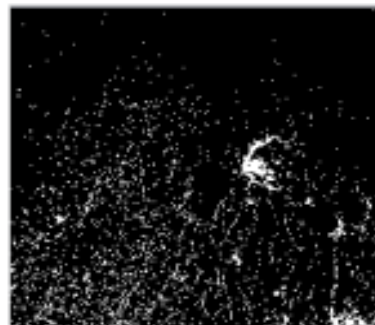


Figura 33. Imaginea obținută după aplicarea metodei Otsu.

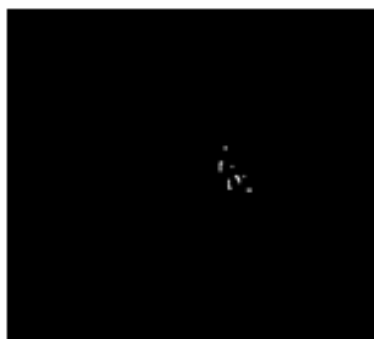


Figura 34. Imaginea obținută după aplicarea scheletizării.

3.5. Detecția intrușilor

O problema adiacentă calității drumurilor naționale, dar extrem de importantă în cazul autostrăzilor, o constituie detecția intrușilor care pot provoca accidente prin prezența lor neavenită. În acest sens, s-au dezvoltat sau s-au perfecționat câteva modalități de detecție a prezenței intrușilor în anumite zone care pot fi marginase autostrăzilor:

- efectul cuantizării în sistemele audio de detecție a intrușilor [P5.3, P5.4, P5.5] ;
- alarmarea în sistemele audio de detecție a intrușilor [P5.6, P5.7, P5.8] ;

Majoritatea algoritmilor folosesc informația sub formă de magnitudine; pentru reconstituire sau clasificare, de multe ori, informația de fază trebuie reconstituită. Cum semnalul audio este unidimensional, problema reconstituirii fazei a fost analizată în [P5.9, P5.10, P5.11].

4. Diseminarea rezultatelor

În perioada 6-7 iulie 2015, echipa de cercetare a partenerului P5 - UTCN a organizat **RTSP 2015 - International Workshop on Recent Trends in Signal Processing**, eveniment cu invitați de prestigiu, organizat sub egida EURASIP. PAV3m a fost unul dintre coorganizatorii acestui eveniment: <http://sp.utcluj.ro/RTSP2015/Sponsors.html>. Programul workshop-ului este prezentat în anexele raportului.

Rezultatele originale obținute în aceasta etapă au fost diseminate prin următoarele publicații:

Reviste ISI:

I.-C. Dragoi, D. Coltuc, On Local Prediction Based Reversible Watermarking, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 24, no. 4, pp. 1244–1246, 2015.

Lucrări la conferințe internaționale:

1. Bogdan Cramariuc, Lucia Rusu, Mobile Data Acquisition System for Road Inspection, Proceedings of 8th International Conference on Environmental Engineering and Management ICEEM08, Iasi, Romania, 9 -12 September 2015.
2. Claudiu Chiculiță, Laurențiu Frangu: A Low-Cost Car Vibration Acquisition System, IEEE 21st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, SIITME 2015, Brașov, 22–25 octombrie 2015, siitme.ro

3. F. Albu Linear Prediction based Image Enhancement Method, Proc. of IEEE International Conference on Consumer Electronics 2015, Berlin, Germany, pp. 496-499, Sept. 2015. articolul poate fi incarcat de la: http://www.researchgate.net/profile/Felix_Albu/publication/282657583_Linear_Prediction_based_Image_Enhancement_Method/inks/5616763908ae0f2140071b57.pdf
4. I.-C. Dragoi, D. Coltuc, I. Caciula, Horizontal Pairwise Reversible Watermarking, European Signal Processing Conference EUSIPCO'2015, Nice, France, 2015
5. I.-C. Dragoi, D. Coltuc. "A simple four-stages reversible watermarking scheme." Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2015 International Symposium on. IEEE, 2015.
6. Lucia Rusu, Dan Andrei Sitar Taut, Sergiu Jecan, An integrated solution for pavement management and monitoring systems, 22th International Economic Conference - IECS 2015, Sibiu, Romania, 19-20 Mai 2015, published in Elsevier, Procedia Economics and Finance (2015), pp. 14-21, DOI information: 10.1016/S2212-5671(15)00966-1
7. Oana Dineş, Dan Benţa, Lucia Rusu, Risc Management Model for Road Maintenance Projects, Proceedings of 8th International Conference on Environmental Engineering and Management ICEEM08, Iasi, Romania, 9 -12 September 2015.
8. Rustem Popa, Laurenţiu Frangu: A GA-based ICA for Acoustic Signals, IEEE 16th International Conference on Computer as a Tool, EUROCON 2015, Salamanca (Spania), 8-11 septembrie 2015, <http://eurocon2015.usal.es>.
9. T. Nedelcu, D. Coltuc, "Alternate embedding method for difference expansion reversible watermarking." Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2015 International Symposium on. IEEE, 2015.
10. T. Nedelcu, R. Iordache, D. Coltuc, Alternate multibit embedding method for reversible watermarking, European Signal Processing Conference EUSIPCO'2015, Nice, France, 2015.
11. Udriou, D. Coltuc. "On optimized histogram bin shifting reversible watermarking for color images." Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2015 International Symposium on. IEEE, 2015.
12. D. Danilescu, C. Rusu, "Morphological image processing for road anomalies detection using 2D images and video data," in: Proceedings 6th International Conference on Modern Power Systems MPS2015, Acta Electrotehnica, Cluj-Napoca, 2015, pp. 72-76.
13. D. Danilescu, A. Lodin, L. Grama, C. Rusu, Road anomalies detection using basic morphological algorithms, Carpathian Journal of Electronic and Computer Engineering 8 (2) (2015) 1-4, accepted.
14. L. Grama, C. Rusu, "The quantization effect on audio signals for wildlife intruder detection systems," in: Proceedings EUROCAST 2015, 2015, pp. 205-206.
15. URL https://dl.dropboxusercontent.com/u/4169746/Extended_Abstract_Book.pdf
16. L. Grama, C. Rusu, "The quantization effect on audio signals for wildlife intruder detection systems," Vol. 9520, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin / Heidelberg, 2015, pp. 1-8. doi:10.1007/978-3-319-27340-2 81.
17. L. Grama, C. Rusu, "About quantization of audio signals for wildlife intruder detection systems," in: Proceedings 22nd European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD), IEEE, Trondheim, Norway, 2015, pp. 1-4. doi: 10.1109/ECCTD.2015.7300036.
18. URL <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=7300036>
19. C. Rusu, L. Grama, "Spectrograms, Sparsograms and Spectral Signatures for Wildlife Intruder Detection", in Proc. of SpeD 2015: 8th Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue, IEEE, Bucharest, 2015, pp. 1-4.
20. L. Grama, C. Rusu, G. Oltean, L. Ivanciu, "Quantization Effects on Audio Signals for Detecting Intruders in Wild Areas Using TESPAS S-Matrix and Artificial Neural Networks," in Proc. of SpeD 2015: 8th Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue, IEEE, Bucharest, 2015, pp. 91-96.
21. G. Oltean, L. Grama, L. Ivanciu, C. Rusu, "Alarming Events Detection Based on Audio Signals Recognition," in Proc. of SpeD 2015: 8th Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue, IEEE, Bucharest, 2015, pp. 83-90.
22. C. Rusu, J. Astola, "The extended 1-d (one-dimensional) discrete phase retrieval problem," in: Proceedings EUROCAST 2015, 2015. URL https://dl.dropboxusercontent.com/u/4169746/Extended_Abstract_Book.pdf
23. C. Rusu, J. Astola, "The extended 1-D (One-Dimensional) Discrete Phase Retrieval Problem," Vol. 9520, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin / Heidelberg, 2015, pp. 1+8. doi:10.1007/978-3-319-27340-2 79.
24. C. Rusu, J. Astola, "The extended one-dimensional discrete phase retrieval problem," in: Proceedings Signals, Circuits and Systems (ISSCS), 2015, IEEE, Iasi, 2015, pp. 1-4. doi:10.1109/ISSCS.2015.7204029.
25. Danilescu, C. Rusu, "Morphological image processing for road anomalies detection using 2D images and video data," in: Proceedings 6th International Conference on Modern Power Systems MPS2015, Acta Electrotehnica, Cluj-Napoca, 2015, pp. 72-76. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?reload=true&arnumber=7204029D>.

5. Concluzii

Potrivit programelor internaţionale, ale UE şi Master Plan-ului naţional, reţelele de drumuri sunt esenţiale pentru o companie sau alte organizaţii pentru a asigura randamentul investiţiilor. Un plan de întreţinere corespunzătoare poate economisi suma de bani şi să păstreze condiţiile de drum în viitor. Ne-am concentrat pe sistemul RMS şi am prezentat mai multe soluţii pentru PMMS: MS2 (PMS), SMEC ca o opţiune bună utilizat de autorităţile guvernamentale australiene şi internaţionale. Ambele ar putea fi clasificat ca un RMS iar AgileAssets Software Platforma poate fi asimilată ca un IMS. Multe companii de software ofera mai multe COTS software pentru RMS, BMS sau IMS dar multe ţări au dezvoltat sisteme proprii de funcţie de particularităţile de ţară şi obiective

locale. Noi oferim o platformă globală pentru PMMS centrate pe RMS caracteristici, care este o soluție web-based bazat pe cerințele PMMS și recomandări făcute în programele UE: Rimes și PAV-ECO.

Procesele de afaceri specifice ale țării noastre, ne-a permis identificarea actorilor cheie și rolul lor în PMMS. În analiza proceselor de afaceri am luat în considerare posibilitatea ca managementul proiectelor rutiere care urmează să fie efectuate de către asociații de firme, coordonate de un manager de proiect. În ceea ce privește cerințele de PMS și PMMS am descompus sistemul în trei părți: *IPA (procesare de imagine și de analiză)*, *Modul de Management și de Mențință (MM)* și modulul de *Informații generale*, legate cu baza de date de imagine, care conține imagini și video achiziții și algoritmi de procesare și de pavaj de aplicare baza de date, care conține programe proiecte, materiale și date de resurse umane, proiecte pavaj de informare arhivă. IMA are un rol major în analiza LCCA, special pentru întreținere și proces de reabilitare.

Analiza imaginii și video automată pentru pavaje se bazează pe produse ESRI (Environmental Systems Research Institute) ca ArcGIS, o soluție GIS pe vehicul, camere foto și alți senzori ca o soluție low-cost. Am redus astfel costurile de achiziție de date iar utilizatorii pot accesa site-ul nostru în funcție de rolul lor în PMMP. Am optat pentru LCCA ca metoda a analizei de cost, în conformitate cu recomandările internaționale ale UE și soluțiilor de management și mențință a drumurilor specifice din țara noastră. Predicția și analiza cost-beneficiu și de management al riscurilor în timp, ajută factorii de decizie în faza de întreținere și oferă o soluție mai ieftină și fundamentată. În plus, utilizatorii au acces partajat la resurse și decizii, în funcție de rolul în sistemul holistic.

Bibliografie selectiva

- AgileAssets (2015) AgileAssets Products Available at <http://www.agileassets.com/products/pavement-analyst/>
- AMRS (2000) USA Department of Transportation, DSTI/DOT/RTR/IMI (2000)1, "Asset Management for the Roads Sector",
- Bența, D., M.I. Podcan & C. Mircean, (2011) "On best practices for risk management in complex projects", InformaticaEconómica Journal, Bucharest: INFOREC Association, Vol. 15, no. 2/2011.
- Damodaran, A. (2008) "Why Do We Care About Risk?", Strategic risk management. A Framework for risk management, USA, New Jersey: Pearson Education, Inc., 2008, pp.11-35.
- MT (2013) Master-plan General de Transport, Available at <http://www.mt.ro/web14/strategia-in-transporturi/master-plan-general-transport/documente-master-plan>
- Oguara, T.M. (2007) *Pavement Maintenance Management System: the Paradigm decision-making tools for Highway Engineers*, lecture notes, Rivers State University of Science and Technology Port Harcourt,
- PMO (2015) Available at <http://www.pavementmanagement.org/ICMPfiles/2001058.pdf>
- SMEC (2015) SMEC Pavement Management System Available at www.smeoftware.com.au
- M. Borowiec, A. Sen, G. Litak, J. Hunicz, "Vibrations of a vehicle excited by real road profiles", Forschung im Ingenieurwesen, vol. 74, Springer, 2010, pp. 99-109.
- C. Park, Y. Choi, Y. Kim: Early fault detection in automotive ball bearings using the minimum variance cepstrum, Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 38, Issue 2, July 2013, pp. 534-548
- R. Popa, L. Frangu, "A GA-based ICA for Acoustic Signals", Proc. IEEE EUROCON 2015 Intl. Conference on Computer as a Tool, Salamanca, Spain, 8-11 Sept. 2015.
- X. Wang, "Vehicle vibration measurement and analysis", chap. 3 in: Vehicle Noise and Vibration Refinement, Woodhead Pub. 2010, pp. 33-67

Bibliografie subcap. 2.5

- [1] T. M. Oguara, "Pavement Maintenance Management System: the Paradigm decision-making tools for Highway Engineers", lecture notes, Rivers State University of Science and Technology, Port Harcourt, 2007.
- [2] M. Borowiec, A. Sen, G. Litak, J. Hunicz, "Vibrations of a vehicle excited by real road profiles", Forschung im Ingenieurwesen, vol. 74, Springer, 2010, pp. 99-109.
- [3] C. Park, Y. Choi, Y. Kim: Early fault detection in automotive ball bearings using the minimum variance cepstrum, Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 38, Issue 2, July 2013, pp. 534-548
- [4] R. Popa, L. Frangu, "A GA-based ICA for Acoustic Signals", Proc. IEEE EUROCON 2015 Intl. Conference on Computer as a Tool, Salamanca, Spain, 8-11 Sept. 2015.
- [5] X. Wang, "Vehicle vibration measurement and analysis", chap. 3 in: Vehicle Noise and Vibration Refinement, Woodhead Pub. 2010, pp. 33-67
- [6] "RS-422 and RS-485 Standards", Texas Instruments Application Report, revision May 2010 www.ti.com/lit/an/slla070d/slla070d.pdf
- ***, MMA8451 datasheet, Freescale, www.freescale.com
- [7] D. M. Beazley, "Python Essential Reference", Addison-Wesley Professional; 4th ed., 2009.

Bibliografie subcap. 3.2

- [1] A. Hyvärinen, P. O. Hoyer, and M. Inki, "The Independence Assumption: Analyzing the Independence of the Components by Topography" in: Advances in Independent Component Analysis, M. Girolami, Ed. London: Springer-Verlag, 2000, pp. 45-60.
- [2] G. R. Naik and D. K. Kumar, "An Overview of Independent Component Analysis and Its Applications," Informatica, vol. 35, pp. 63-81, 2011.
- [3] J. V. Stone, Independent Component Analysis: A Tutorial Introduction. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2004, pp. 19-128.
- [4] A. Hyvärinen, J. Karhunen, and E. Oja, Independent Component Analysis. New-York, John Wiley & Sons, 2001, pp. 165-180.
- [5] J. Brownlee, Clever Algorithms. Nature-Inspired Programming Recipes. Australia: LuLu, 2011, pp. 92-98.