

# BIG-SMART-LOG.

## Raport științific 2020

Oliviu Matei

November 20, 2020

### 1 Introducere

Contextul actual al globalizării mondiale a ridicat multe probleme în ceea ce privește transportul de mărfuri. Aceste mărfuri sunt transportate pe distanțe foarte mari de pământ și apă, coletele foarte mici ajung să meargă la mii de kilometri până la destinație și de cele mai multe ori ajung să se deplaseze cu mai mult de un mijloc de transport: cu nave, avioane, camioane [119]. Acest lucru duce la nașterea sistemului de transport multimodal (MMTS). Spre deosebire de transportul clasic, individual, transportul multimodal are constrângeri multiple [60], de ex. diferite procese de optimizare precum încărcarea coletelor și transferul între transporturi.

Steadie Seifi, *et al.* [108] în analiza literaturii de specialitate privind planificarea transportului multimodal de marfă, prezintă diferite probleme de planificare strategică și tactică în cadrul transportului multimodal de mărfuri. Sunt descrise planuri operaționale complexe pentru cerințele în timp real ale operatorilor, transportatorilor și expeditorilor multimodali, care nu au fost abordate anterior. Sunt incluse modelele de bază cu soluții conexe și cercetările viitoare.

O trecere în revistă detaliată, cu o analiză a modelelor de luare a deciziilor pe bază de optimizare pentru problema planificării recuperării în caz de dezastru a rețelelor de transport (DRPTN) este descrisă de Zamanifar și Hartmann [130]. Autorii au descris fazele modelelor de luare a deciziilor bazate pe optimizare și au investigat metodologiile lor. Cu toate acestea, autorii identifică unele provocări și oportunități, tratează îmbunătățirea cercetării și au făcut sugestii pentru posibile cercetări viitoare.

O analiză sistematică recentă despre tehnicile dinamice de stabilire a prețurilor pentru *Sistemul Inteligent de Transport (ITS)* din orașele inteligente a fost publicată de Saharan, *et al.* [100]. Autorii au inclus tehnicile ITS existente cu prezentări pertinente și discuții despre problemele legate de vehiculele electrice (EV) utilizate pentru reducerea sarcinilor de vârf și a congestiei, respectiv creșterea mobilității.

Lucrarea actuală face o prezentare generală a transportului multimodal; secțiunea 2 definește transportul multimodal și contextul din jurul acestuia.

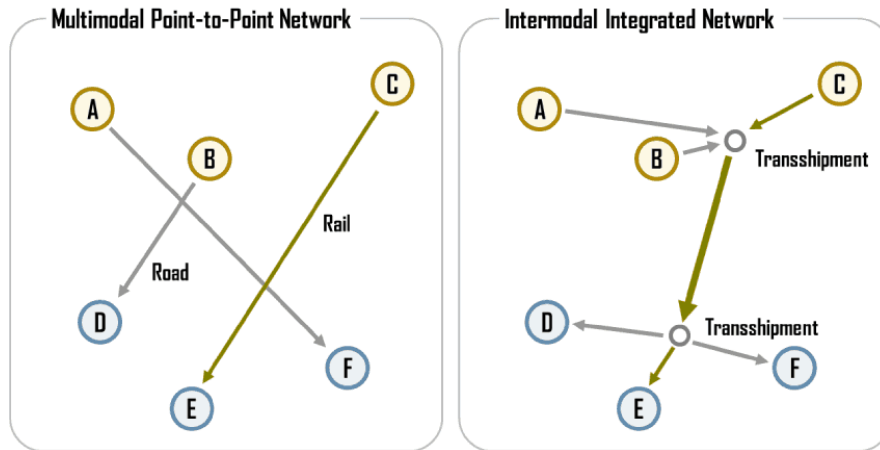


Figure 1: Diferența dintre o rețea multimodală punct-la-punct și o rețea integrată

Secțiunea 3 introduce definiția matematică a transportului, apoi 4 prezintă caracteristicile și provocările legate de transport. Mai departe, metode de planificare (secțiunea 5) și optimizarea (secțiunea 6) în termeni de timp (secțiunea 6.1), cost (secțiunea 6.2) și topologia rețelei (secțiunea 6.3). Modelele de transport unimodale existente și soluția de rezolvare cu posibile extinderi viitoare la caracteristicile multimodale sunt incluse în secțiunea 7. Secțiunea 8 trage concluziile importante cu privire la transportul multimodal.

## 2 Ce este transportul multimodal?

Transportul multimodal este definit de Convenția ONU privind transportul internațional multimodal de mărfuri după cum urmează.

**Definiția 1.** Transportul multimodal înseamnă transportul mărfurilor dintr-un loc în alt loc, de obicei situat într-o țară diferită, prin cel puțin două mijloace de transport [77].

De obicei, când ne gândim la transport, ne gândim la o legătură directă (Fig. 1 stânga), la cea mai scurtă rută, între expeditor și destinatar [138].

Optimizarea acestor rute este un subiect destul de ușor și intens studiat. Există deja algoritmi de ultimă generație, cum ar fi Algoritmii lui Dijkstra [46], sau tehnica Clarke-Wright [37]. Dar aceste abordări au un lucru în comun: ele iau în considerare numai un singur mijloc de transport, cu un singur depozit și unul sau mai mulți clienți (sau destinatari).

### Scenarii din viața reală.

În lumea reală, cu toate acestea, mărfurile pot fi transportate în orice direcție,

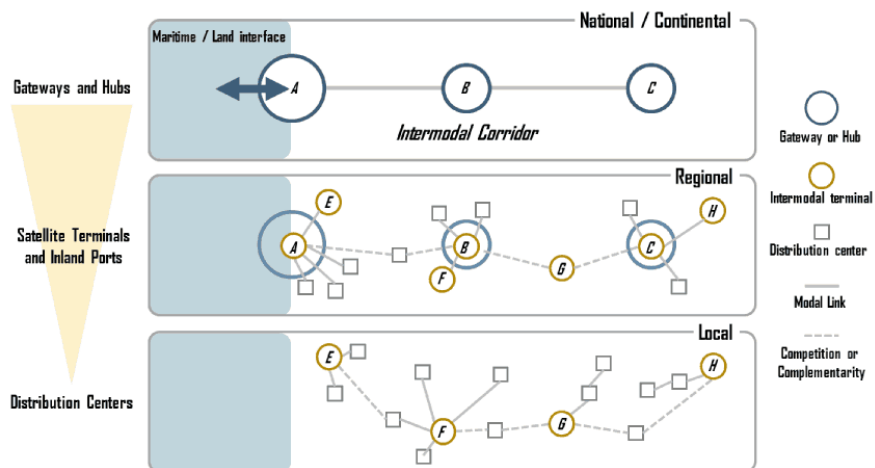


Figure 2: Prezentare generală a diferitelor scale ale transportului multimodal, de la continental la local. [98]

de exemplu, în interiorul unei țări există curierii care livrează în 24 de ore de la orice punct al țării la orice alt punct (Fig. 1 dreapta); folosind doar camioane pentru a efectua, de exemplu, o sarcină completă ar fi aproape imposibil, deoarece problema are  $O(n^2)$  complexități.

De exemplu, într-o țară mică cu doar 20 de orașe, în fiecare zi ar exista 380 de camioane în mișcare. Optimizarea acestui caz a însemnat proiectarea unui sistem cu un depozit central (sau hub), unde toate mărfurile sunt descărcate, sortate în funcție de destinație și încărcate în cele din urmă pe camioanele respective și expediate către destinație.

Numai această optimizare reduce numărul necesar de camioane de la 380 la doar 20 pentru aceeași problemă (aceleși camion face o călătorie dus-întors din fiecare oraș până în hub-ul central) [132].

Dar cum rămâne cu țările mai mari, sau cu transportul internațional?

Având un singur hub de pe un întreg continent s-ar putea să nu fie o idee foarte bună, din cauza numărului foarte mare de posibile rute de transport. De asemenea, limitându-ne doar la camioane ar însemna că clienții de pe insule sau peste mări nu pot fi deserviți. De aceea, livrarea produselor cu mai multe mijloace de transport, și anume transportul multimodal, este o necesitate.

Acest mod are avantajul de a deplasa o cantitate uriașă de marfă, în sute de mii de tone simultan, prin nave mari, pe distanțe foarte mari.

### 3 Definiția matematică a transportului

Problema de transport, așa cum este afirmată în zilele noastre, include dezvoltarea geometriei riemanniene și a teoriei măsurătorilor. Exemplul fabricilor de mine este o referință utilă pentru un caz abstract. În această configurație, minele pot aproviziona mai multe fabrici, iar fabricile, la rândul lor, pot primi minereuri din mai multe mine.

**Definiția 2.** Fie  $X$  și  $Y$  două spații metrice separabile astfel încât orice măsură de probabilitate pe  $X$  (sau  $Y$ ) este o măsură Radon (adică acestea sunt spații Radon). Fie  $c : X \times Y \rightarrow [0, \infty]$  să fie o funcție măsurabilă Borel. Având în vedere măsurile de probabilitate  $\mu$  pe  $X$  și  $\nu$  pe  $Y$ , și  $T_*(\mu)$  denotând împingerea înainte de  $\mu$  cu  $T$ , formularea lui Monge a problemei de transport optim este pentru a găsi o hartă de transport  $T : X \rightarrow Y$  care atinge infimum, (1).

$$\text{inf} = \left\{ \int_X c(x, T(x)) d\mu(x) \mid T_*(\mu) = \nu \right\} \quad (1)$$

O hartă  $T$  care atinge infimum (adică îl face minim în loc de infimum) se numește "hartă optimă de transport".

Formularea Monge a problemei de transport optim (Definiția 1) poate fi inadecvată, deoarece uneori nu există  $T$  care să satisfacă (2); acest lucru se întâmplă, de exemplu când  $\mu$  este o măsură Dirac, dar  $\nu$  nu este.

$$T_*(\mu) = \nu \quad (2)$$

O îmbunătățire ar putea fi făcută prin adoptarea formulării lui Kantorovich a problemei de transport optim, care este de a găsi o măsură de probabilitate  $\gamma$  pe  $X \times Y$  care atinge infimum, ca în (3). Colectarea tuturor măsurilor de probabilitate pe  $X \times Y$  cu margini  $\mu$  pe  $X$  și  $\nu$  pe  $Y$  este notat cu  $\Gamma(\mu, \nu)$ .

$$\text{inf} = \left\{ \int_{X \times Y} c(x, y) d\gamma(x, y) \mid \gamma \in \Gamma(\mu, \nu) \right\} \quad (3)$$

Se poate arăta [10] că un minimizator pentru această problemă există întotdeauna când funcția de cost  $c$  este semicontinuu inferior și  $\Gamma(\mu, \nu)$  este o colecție strânsă de măsuri (care este garantată pentru spațiile Radon  $X$  și  $Y$ ).  $\square$

### 4 Caracteristici Și provocări ale transportului multimodal

Această secțiune se focusează pe provocările transportului multimodal, atât pentru *pasageri* (Secțiunea 4.1) cât și pentru *marfă* (Secțiunea 4.2).

Majoritatea comenzilor primite sunt deplasate cu mai multe moduri de transport, cum ar fi: nave, avioane, camioane; Fig. 2 arată *consecința* directă: atunci când se ajunge la sfârșitul unei rute la fiecare mod de transport trebuie să existe un hub de sortare / expediere. În primele etape, centrele de sortare adună

toate comenzile de la diferiți expeditori, stabilesc destinația și le atribuie un mod de expediere. Rutele pot fi estimate la acest pas pentru a evalua cele mai economice, atât în ceea ce privește costul, cât și timpul. Mărfurile cu aceeași rută sunt grupate și încărcate în același mod de expediere.

Operațiunile de descărcare-sortare-grupare-expediere sunt repetate la fiecare hub fiind o acțiune consumatoare de timp. În consecință, hub-urile intermediare trebuie să fie foarte bine organizate astfel încât să limiteze timpul petrecut în acel punct și, de asemenea, numărul lor trebuie să fie suficient de mic. Dezavantajul fiind numărul foarte mare de hub-uri de expediere care va crește dramatic costul transportului, datorită numărului de unități de transport utilizate.

### Provocări.

Pe baza acestor caracteristici, apar mai multe provocări.

- Cum putem face transportul de la A la B mai ieftin, mai rapid și cu cel mai mic impact asupra mediului?
- Cum putem calcula numărul optim de hub-uri cu beneficii maxime?
- Care este modul optim de transport al mărfurilor între hub-uri evitând în același timp punctele slabe?

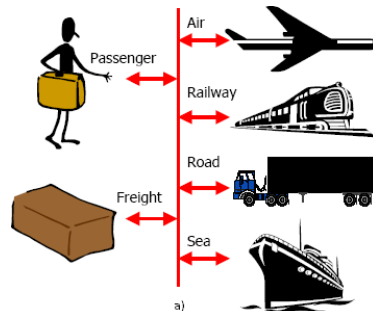


Figure 3: ARKTRANS: Framework-ul norvegian pentru MMTS [71]: a) Componentele MMTS; b) Funcționalitatea necesară legată de transbordare și depozitare; c) Modelul de referință și nivelul superior de descompunere funcțională a managementului rețelei de transport; d) procese întrepătrunse, un exemplu teoretic.

### Modele.

**ARKTRANS.** Arhitectura framework-ului norvegian pentru sistemele de transport multimodal (MMTS) prezentat de Natvig, *et al.* [70,71] oferă o prezentare generală a tuturor sistemelor majore care rulează în Norvegia, care, sperăm, vor contribui în continuare la soluții noi și îmbunătățite.

Transportul, fie pe mare, aerian sau feroviar, are nevoi și provocări similare în ceea ce privește comunicarea, informațiile, gestionarea, planificarea și costurile.

Fig. 3 ilustrează: componente multimodale specifice a), un exemplu de funcționalitate între componente b), un exemplu de gestionare a rețelei de transport c) și modul în care un proces de transport include funcționalități de subdomenii și modul în care sunt interconectate procesele d); astfel serviciile de transport funcționează împreună și fac un schimb eficient de informații.

În plus, principalele **specificații MMTS** a framework-ului ARKTRANS care ar putea fi un ghid pentru alte framework-uri similare.

- Un model de referință cu subdomenii detaliate;
- Rolurile părților interesate;
- O vizualizare funcțională cu funcționalitatea detaliată a subdomeniilor;
- O vizualizare a comportamentului cu scenarii detaliate și interacțiuni între subdomenii;
- O vizualizare de informații cu modele detaliate pentru transportul de marfă și informații despre ruta MMTS;
- Aspecte tehnice.

O interacțiune benefică în cadrul întregului proces MMTS conduce la un framework de transport multimodal eficient.

#### **HAZMAT Evaluarea vulnerabilității securității transportului (SVA).**

Modelul Hazmat, transportul de materiale periculoase SVA evaluează nivelurile relative de risc de securitate ale diferitelor moduri de modele de transport de mărfuri periculoase (rutier, căi navigabile interioare, conducte sau cale ferată) sunt propuse de Reniers și Dullaert [96]. Urmează un rezumat al modelului.

1. Traseele sunt împărțite în segmente mai mici.
2. Scorurile de probabilitate ale riscurilor legate de securitate în care este implicat transportul de mărfuri periculoase și care pot cauza decese în populația din jur, sunt determinate pentru fiecare segment.
3. Impactul scenariilor de rănire este calculat în funcție de numărul de persoane aflate la o distanță letală de 1% de centrul incidentului.
4. Pe baza acestor scoruri de probabilitate și impact, se determină nivelurile de risc pentru securitatea rutelor de transport.
5. Riscurile de transbordare sunt luate în considerare pentru determinarea nivelurilor finale de siguranță ale rutei de transport.

În acest fel, factorii de decizie au un instrument de evaluare a securității ușor de utilizat în transportul multimodal. Riscurile legate de utilizator sau de marfă pe diferite segmente de rută pot fi evaluate și comparate atât din perspectivă unimodală, cât și din perspectivă multimodală.

Riscul intermodal este determinat pe calea minimă a riscului de securitate, luând în considerare numai riscurile segmentelor individuale ale unei rute de transport și include, de asemenea, numărul transbordării intermodale.

Riscul cu transbordarea este definit ca la (4) cu următoarele notații:  $R_t$  este securitatea cu transbordarea,  $R_{nt}$  este riscul de securitate fără transbordare,  $x$  este factorul de greutate pentru importanța riscurilor de transbordare, comparativ cu riscurile de transport și  $nts$  este numărul de transbordări.

$$R_t = R_{nt}(1 + x(nts)) \quad (4)$$

**New Delhi, zona urbană indiană ocupată.** În 2021, populația din Delhi va fi de aproximativ 23 de milioane, prin urmare, transportul public ar trebui integrat. În [52] MMTS se concentrează pe reducerea aglomerației pe drumuri și îmbunătățirea transferurilor și a schimburilor între moduri.

Transportul public din Delhi va crește de la 60% din numărul total de călătorii vehiculare la cel puțin 80% în 2021; Se estimează 15 milioane de călătorii pe zi până în 2021 în tranzitul integrat feroviar-autobuz, plus 9 milioane cu alte moduri.

Modelul de transport public din Delhi este ilustrat, evaluat și performanțele sale sunt discutate în Kumar, *et al.* [52]. **Performanța** MMTS este cuantificată utilizând următoarele măsuri.

- *Raportul timpului de călătorie (TTR):* o valoare TTR mare duce la un transport public mai puțin competitiv, de exemplu  $TTR \in [1, 5]$ ;
- *Nivelul serviciului (LS)* este un raport dintre timpul de deplasare în afara vehiculului (OVTT) și timpul de deplasare în vehicul (IVTT); o măsură mare LS duce la un transport public mai puțin atractiv, de ex.  $LS \in [1.2, 5.0]$ ;
- *Raport Inter-conectivitate (IR)* este raportul dintre timpul de acces și timpul de ieșire la timpul total de călătorie;  $IR \in [0, 1]$ ;
- *Indicele pasagerilor în așteptare (PWI)* este raportul dintre timpul mediu de așteptare a pasagerilor și frecvența serviciilor de transport; numărul de pasageri pentru îmbarcare este mai mic sau egal cu spațiul disponibil în modul de transport;  $PWI \in [0, 1]$ ;
- *Index de rulare (RI)* este raportul dintre timpul total al serviciului și timpul total de călătorie; un RI mare duce la o eficiență scăzută a sistemului;  $RI \in [0, 1]$ ;

În special, pentru studiul de caz din New Delhi:  $TTR = 1.3$  prezintă un transport public competitiv; LS, media  $OVTT/IVTT > 1$  înseamnă că oamenii petrec mai mult timp în afara vehiculului decât în vehicul;  $IR \in [0.2, 0.5]$  valoarea arată că interconectivitatea dintre modurile de transport ar trebui îmbunătățită;  $PWI = 0.825$  pentru Metro este recomandat deoarece timpul mediu de așteptare a pasagerilor este similar cu frecvența Metro;  $RI = 0.7681$ , indică faptul că satisfacția pasagerilor ar trebui îmbunătățită.

Concluziile generale specifică faptul că MMTS este potrivit în special pentru distanțele mari; o caracteristică majoră MMTS este timpul total de călătorie; timpul de acces, ieșire și transfer ar putea fi redus dacă va exista MMTS integrat, de ex. facilități de parcare și biciclete și acces cu carduri pe sistemele de tranzit.

**Alte framework-uri.** Framework-urile pentru securitatea transportului multimodal și diverse aplicații politice sunt descrise detaliat în cartea Szyliowicz, *et al.* [111]. Alte aplicații legate de *framework-uri și provocări de securitate*, atât pentru pasageri, cât și pentru transportul de mărfuri și aplicațiile de securitate și politici din întreaga lume sunt analizate în cartea Wiseman, *et al.* [124].

## 4.1 Transport multimodal de pasageri

### Abordări teoretice.

**Proiecte pentru lanțuri și rețele** sunt explorate de Bockstael-Blok [18]. Așa cum autorul îl descrie "Obiectivul acestei cercetări este: Dezvoltarea unei abordări de proiectare pentru îmbunătățirea sistemelor inter-organizaționale de transport multimodal de călători dintr-o perspectivă de lanț". Articolul ridică câteva aspecte interesante, cum ar fi echilibrarea impactului pozitiv și negativ al mobilității, o abordare holistică pentru modurile de transport care nu reduce neapărat numărul de kilometri pentru pasageri, ci îmbunătățește numărul de kilometri-vehicul, rezultând o mai eficientă utilizare a resurselor (infrastructură, combustibil).

**O abordare extrem de conceptuală** a lui Chiabaut [23] este aplicată unei rețele foarte idealizate. Autorii își propun să combine diferite moduri de transport prin extinderea conceptului de diagramă fundamentală macroscopică (MFD). Principalul motiv pentru aceasta este că astfel se poate evalua eficiența sistemului global de transport. Această abordare poate fi aplicată unei game largi de cazuri. Deși este o analiză idealizată, oferă cunoștințe despre cum se calculează performanța generală a unei rețele de transport multimodale și metode de comparare a diferitelor strategii de gestionare a traficului.

### Modele.

**Un model de programare liniară multiobiectiv pentru planificarea pre-călătorie a pasagerilor** a fost propus de Aifadopoulou, *et al.* [8]. Ca studiu de caz, călătoriile în Grecia folosind mijloacele de transport în comun, un gateway de informații bazat pe web integrat a fost studiat. Algoritmul introdus (cu complexitate polinomială) calculează compatibilitatea diferitelor moduri pe baza preferințelor utilizatorului, respectiv stații intermodale și identifică căile fezabile. A fost structurat pentru verificarea și optimizarea certificatului; validarea impactului constrângerilor asupra complexității computaționale a fost realizată liniar; se concentrează pe o strategie de descompunere; selectarea hub-ului este semnificativă pentru compatibilitatea și viabilitatea MMTS; conduce la identificarea parametrilor pentru a crește compatibilitatea serviciilor și tarifelor MMTS.



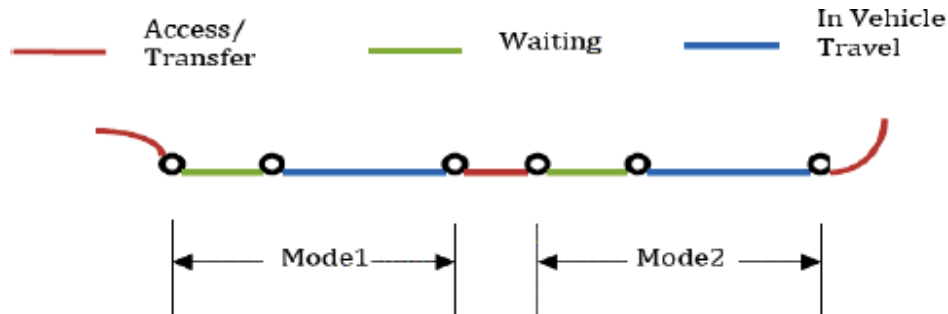


Figure 4: Transport multimodal de pasageri: exemplu de "model de timp de așteptare" [19] .

**O analiză detaliată a zonei Rhein-Ruhr** este realizat de Schönharting, *et al.* [101]. Autorii au identificat *zona Rhein-Ruhr* ca o rețea de coridoare (sau mega-coridor). Bunele practici sunt prezentate și analizate cu scopul de a pune *zona Rhein-Ruhr* pe "harta" exemplurilor bune de urmat.

Un "model de timp de așteptare" pentru pasageri (Fig. 4) bazat pe mai multe variabile, a fost dezvoltat de Bouziri, *et al.* [19] pentru a optimiza timpii de așteptare în stații. Un studiu de caz bazat pe un sondaj a fost realizat în Marele Sahel tunisian. Analiza corespondenței multiple (MCA) și modelul liniar general au fost utilizate tehnic. Noul model depinde de următoarele caracteristici: costul călătoriei, scopul și frecvențele de deplasare în timpul utilizării MMTS și se bazează pe vârsta respondenților. Urmează principalele rezultate ale studiului de caz.

- Combinația MMTS incluzând autobuzul și tramvaiul, au nevoie de timp de așteptare mai mare decât altele;
- Tinerii așteaptă mai mult timp pentru serviciile de transport; folosesc transportul public mai des decât lucrătorii;
- Călătorii așteaptă mai mult decât pasagerii zilnici;
- Călătoriile MMTS, inclusiv timpul de așteptare al taxiurilor, sunt mai scurte atunci când sunt incluse două servicii de transport;
- Transportul semi-colectiv pare benefic deoarece reduce timpul de așteptare;
- Transportul semi-public cu doar un mod de transport de ex. taxiul anulează timpul de așteptare redus;
- Costul călătoriei are o influență majoră în timpul total de așteptare.

Timpul de așteptare în cadrul transportului public are o consecință directă asupra calității serviciului de transport.

**Modelul TRANSFER.** Carlier, *et al.* [20] de la Delft UT și TNO, au introdus modelul TRANSFER, pentru analiza rețelei multimodale în orașele mari, precum și generarea de rute. Construirea parcarilor stimulative (P&R) păstrează automobilele în afara centrului orașului. Mai multe locațiile P&R sunt planificate pentru șoferii de mașini, deoarece ar putea parca aici și se pot transfera în transportul public pentru a ajunge în continuare în centrul orașului. Principalul avantaj este de a face transportul public și / sau alternativ mai atrăgător pentru pasageri.

Ca orice alt model, Transferul ar putea avea succes dacă MMTS este mai atractiv decât transportul unimodal, de exemplu, călătoria ”numai cu mașina”. Accesul și ieșirea sunt, de asemenea, cuantificate. Aici, MMTS sunt reprezentate ca super rețele în care rețelele unimodale sunt interconectate prin legături de transfer, posibilitatea transferului și timpul sau costurile aferente.

Componentele TRANSFER includ următoarele:

- Un modul de generare de rute multimodale bazat pe caracteristicile rețelei și preferințele pasagerilor;
- Un modul de repartizare pentru a distribui fluxurile de transport între rute;
- Un algoritm de alegere a traseului de dimensiunea rutei pentru a evita suprapunerea între rutele dintr-un set de rute.

Instrumentul de super-constructor a fost dezvoltat, combinând unele rețele unimodale și transfer de date pentru a genera o super rețea multimodală cu caracteristici ale rețelelor unimodale și cele mai relevante posibilități de transfer.

**Punctele de transfer** sunt studiate de Sun, *et al.* [110]. Autorii analizează viteza de transfer legată de vârstă, efectul orei din zi, efectul unei singure persoane în raport cu ceilalți, aglomerarea și utilizarea cardurilor inteligente. Autorii au detaliat următoarele: comportamentul pasagerilor legat de transferul între modurile MTTs; corectitudinea datelor pentru a face un model fezabil pentru transportul de călători atunci când sunt furnizate configurații complexe din lumea reală; utilizarea eficientă a cardurilor de date inteligente în MMTS.

Ca o concluzie generală, bazată pe rezultate, de exemplu, faptul că pasagerii sunt mai rapizi dimineața, indiferent dacă este aglomerat sau nu; copiii și persoanele în vârstă se transferă mai lent decât adulții, dar copiii depășesc performanța adulților prin pasaaje, alte modele vor trebui să susțină comportamentele pietonilor și proiectarea comodă a facilităților.

## 4.2 Transport multimodal de marfă

**Modele.**

Un framework general legal și reguli de redactare a contractelor sunt propuse de Glass și Schramm în cărțile lor respective [36, 102].



Figure 5: a) Procesul de planificare a transportului conform Administrației Federale a Autostrăzilor (FHWA) [7]; b) Modelul de trafic în patru pași [60].

**Un studiu de caz pentru economiile cel mai puțin dezvoltate** acolo unde apar diferite probleme, este prezentat de Islam, *et al.* [44] unde situația din Bangladesh este explorată din punct de vedere al infrastructurii, precum și al birocrăției locale. Pentru a evalua gradul de integrare a a terminalelor de containere din port în lanțurile de aprovizionare, Panayides și Song [75] definesc și dezvoltă măsuri specifice. Optimizarea integrării terminalelor de containere menționate poate îmbunătăți fluxul de mărfuri, limitând pierderea de timp și întârzierile.

**Integrarea lanțului de aprovizionare (SCI).** În Yuen, *et al.* [129] se discută despre SCI cu bariere pentru industria logistică maritimă. Autorii au identificat o listă de bariere din interviuri și analiza literaturii de specialitate, dar și din 172 de sondaje trimise companiilor de transport maritim de containere. De asemenea, au fost identificați cinci factori care cauzează majoritatea acestor bariere. Colaborările sunt discutate și de Stank, *et al.* [106].

**Studiu de caz: expedieri** concentrându-se pe un important producător de fier și oțel din NW Australia și transporturile sale de minereu de fier către NE China, este prezentat de Potter, *et al.* [94]. Au studiat mai multe rute și opțiuni de transport și chiar optimizări punctuale (cum ar fi traficul aglomerat într-un moment specific). Studiile lor sugerează că pentru transporturile lungi, variațiile portului și variațiile transportului interior au doar diferențe generale marginale, astfel încât mai multe combinații de metode de transport și manipulare pot coexista cu succes. O altă concluzie destul de contra-intuitivă este că cea mai bună opțiune este dată de controlul unei singure companii din întregul lanț de aprovizionare, deoarece piața mărfurilor în vrac este supusă unor schimbări frecvente și incontrollabile ale prețurilor în condiții economice globale.

## 5 Planificarea transportului multimodal

Există multiple fațete ale planificării transportului multimodal, ceea ce îl face mai dificil.

### Provocări.

De exemplu, într-un oraș mare, cineva s-ar putea decide brusc la o călătorie pe distanțe lungi. Aceasta implică un calcul *ad-hoc* al rutei și al mijloacelor de transport care urmează să fie utilizate, în funcție de preferințele individuale, de ex. neutilizarea sistemului de metrou din cauza răului de mișcare. Planificarea unui astfel de transport înseamnă utilizarea oricăror mijloace disponibile *la acel moment*; factorii care trebuie luați în considerare ar putea include: timp, cost, vreme, timp de așteptare în hub-uri etc. Ce implică planificarea unui sistem de transport divers pentru un oraș mare? Proiectantul trebuie să calculeze resursele disponibile, cerințele și chiar programele / programul de lucru al diferitelor companii.

În faza de planificare, proiectantul ar putea sugera mijloacele de transport (autobuze, tramvaie etc.) pentru a obține un sistem economic și ecologic. Potrivit Federal Highway Administration (FHWA) din SUA [7], un proces de planificare a transportului implică pașii descriși în Fig. 5 a).

### Modele și soluții

O carte despre **Introducere în planificarea transportului multimodal** a fost publicată de Litman [60] în care el rezumă principiile de bază pentru planificarea transportului multimodal pentru oameni. El studiază opțiunile de transport pentru pietoni, cum ar fi proiectarea trotuarelor, bicicletelor, partajării călătoriei și sistemele de transport public. El are, de asemenea, explicații foarte bune pentru procesul de planificare a transportului multimodal, impac-turile care trebuie luate în considerare și sunt adesea trecute cu vederea și diferite modele de trafic, cum ar fi modelul de trafic în patru pași, descris în b) din Fig. 5. Prima etapă a planificării unui sistem de transport multimodal este înțelegerea complexității acestuia. Trebuie creat și studiat un model precis, cât mai complet posibil.

**Planificarea transportului multimodal folosind Sisteme multi-agenți.** Sistemele multi-agenți au fost luate în considerare pentru planificare, deoarece transportul multimodal implică mai mulți actori, cum ar fi cel propus de Greulich, *et al.* [38]. După cum sugerează și numele, implementarea folosește agenți inteligenți care reprezintă diferiți actori și iau în considerare efectele comportamentului pasagerilor.

**Planificarea transportului multimodal folosind Analiza învelișului de date cu eficiență încrucișată.** Planificarea transporturilor multimodale eficiente utilizând tehnica analizei învelișului de date cu eficiență încrucișată este prezentată în Dotoli, *et al.* [32]. Aici sunt descrise abordări precum condiții de incertitudine cu trăsături complexe, cum ar fi o putere discriminativă ridicată. Ei dovedesc eficacitatea abordării lor în determinarea planificării de transport

optim și a calculării limitelor în care transportul multimodal este mai eficient decât transportul rutier.

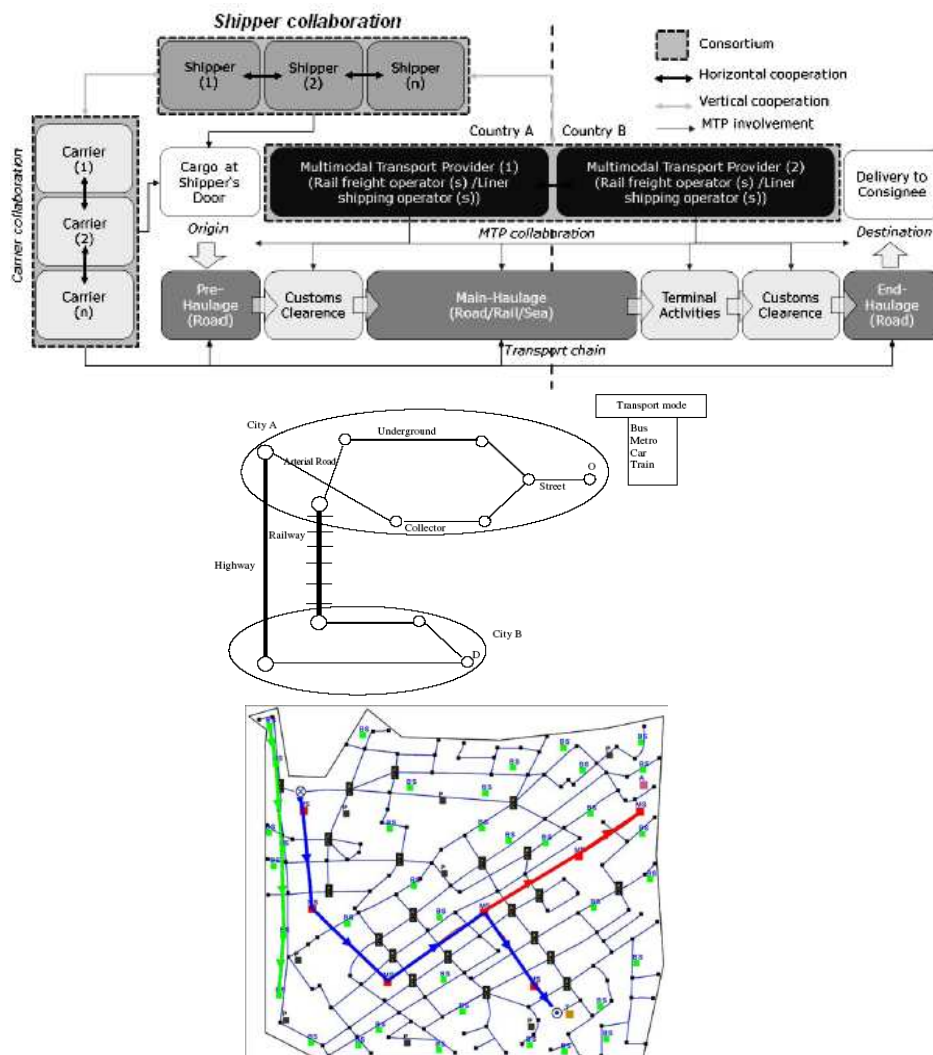


Figure 6: Rețea de transport de mărfuri, colaborări de transport multimodal de mărfuri (MTP) [69] (de sus); Niveluri de rețea și moduri de transport (stânga); folosind algoritmul de rutare multimodală pentru a găsi calea optimă: numărul de căi, transferuri și timpul total (dreapta) [16]

**Fluxurile de pasageri și mărfuri în planificarea transportului multimodal folosind *Căutare locală genetică*.** Un sistem mai complex, cu fluxuri de

mărfuri și de pasageri, testat în Insula Java, Indonezia, este prezentat într-un articol de Yamada, *et al.* [127]. Cercetarea lor a arătat că o procedură bazată pe *Căutare locală genetică* funcționează cel mai bine pentru a găsi cea mai bună combinație de alternative.

**Graficele ȘI / SAU (AOG) ușurează planificarea** În Wang *et al.* [123] se propune o metodă în trei faze de generare a rutei (TPGR) pentru o secvență de transport multimodală fezabilă, bazată pe AOG. Consumul de energie evaluează eficiența energetică a transportului multimodal. Un model de optimizare atât pentru consumul de energie, cât și pentru riscul rutelor este rezolvat cu o tehnică bazată pe furnici. Autorii arată, de asemenea, limitele cercetării: nu folosește date reale de transport multimodal pentru validarea tehnicii și este limitat de complexitatea graficului. Cu toate acestea, simularea tehnicii arată rezultate valide și promițătoare.

**Planificarea transportului sincromodal**, o formă de planificare multimodală în care cea mai bună combinație posibilă de moduri de transport este selectată pentru fiecare pachet, este tratată în profunzime de Mes și Iacob [66]. Algoritmii lor sincromodal este implementat într-un furnizor de servicii 4PL din Olanda și a reușit să obțină o reducere a costurilor de 10.1% și o reducere de 14.2% de  $CO_2$ .

**Analiza riscului traficului rutier: Abordarea fuzziness.** A fost propusă o alternativă de măsurare fuzzy și un clasament în conformitate cu soluția de compromis, MARCOS fuzzy pentru analiza riscului de trafic rutier în [107]. A fost realizat un studiu de caz pe o rețea rutieră de 7,4 km. Metoda a sprijinit luarea deciziilor cu mai multe criterii, în medii incerte și rezultatele sale, în termeni de risc, ar putea fi utilizate în continuare pentru îmbunătățirea siguranței rutiere.

**O metodă cea mai bună-cea mai rea (BWM) și seturi fuzzy tri-unghiulare** pentru clasarea și prioritizarea criteriilor critice de comportament incert al conducătorului auto pentru siguranța rutieră este studiată în [68]. Studiul de caz utilizează date din orașul Budapesta: despre modul în care șoferii percepeau problemele de siguranță rutieră.

**Un sistem de călătorie multimodală** este descris de Bielli, *et al.* [16]. Autorii s-au concentrat pe modelarea obiectelor de rețea (Fig. 6). Acest lucru permite calcularea celui mai scurt traseu, integrând în același timp opțiuni multimodale, implementând și testând soluțiile pentru problema planificării pe termen lung în astfel de sisteme.

**Planificarea transportului multimodal cu limitări folosind Meta-uristică.** Planificarea unei părți a transportului multimodal cu diferite limitări este revizuită de Mutlu, *et al.* [69]. Ei discută probleme precum deciziile în timp real în contextul planificării pe termen scurt, restructurării și reconfigurării strategiilor logistice și planificării colaborative (Fig. 6). Sunt sugerate metode de soluții adecvate și abordări meta-uristice intuitive pentru a acționa rapid asupra schimbărilor.

**Sistem inteligent de transport (ITS): prognozarea fluxului de trafic.** În [133] un optimizator îmbunătățit Bird Swarm (IBSA) este utilizat pentru a

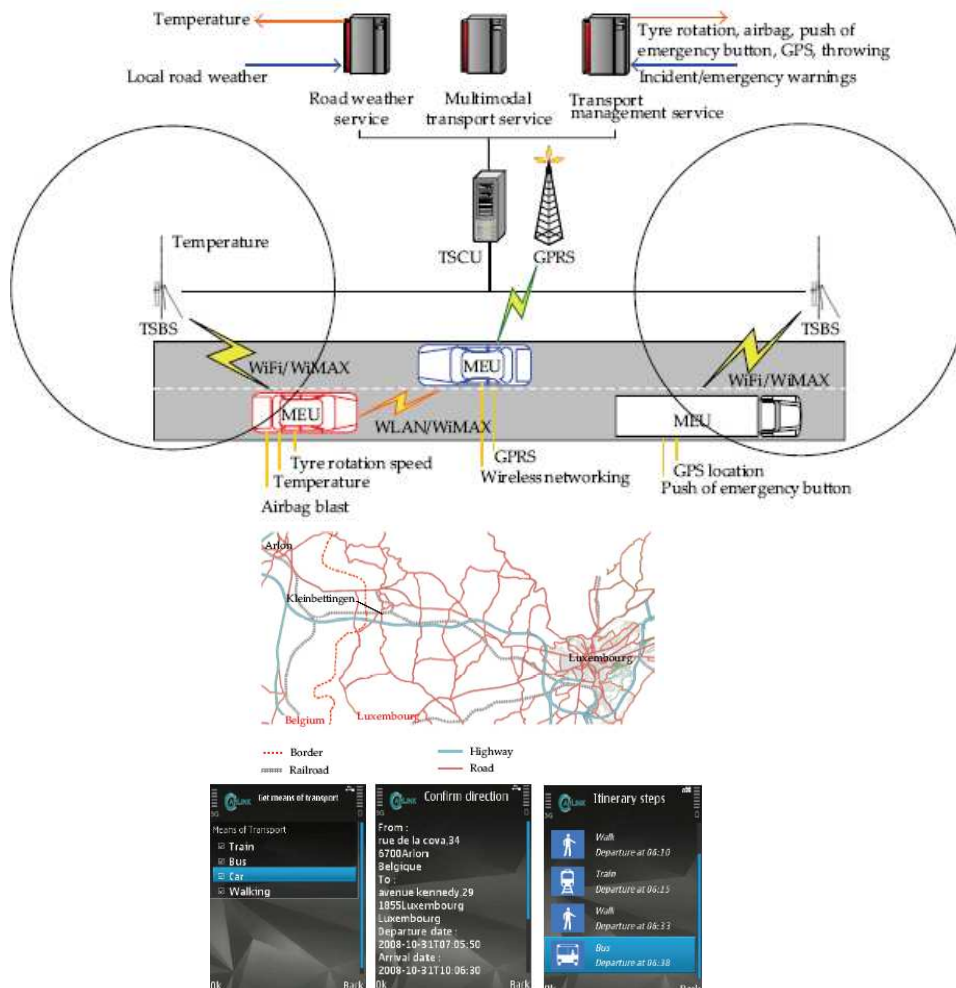


Figure 7: Cadrul european Carlink pentru rețelele de transport distribuite în funcție de timp; o validare pe o rută de la Arlon, la Luxemburg și o reprezentare a aplicației mobile aferente [17].

prezice fluxurile de trafic; rezultatele predicției sunt evaluate și se obține o predicție exactă; modelul are o semnificație pozitivă pentru a preveni aglomerarea traficului urban.

## 6 Optimizarea transportului multimodal

### Modele și soluții.

**Structurile ierarhice de rețea ale rețelelor de transport** și modul în care principalele mecanisme conduc la aceste structuri de rețea sunt principalele interese ale activității Rob van Nes. [117].

**Un framework pentru selectarea unui traseu optim multimodal** este proiectat în Kengpol, *et al.* [49] bazat pe un model de cost de transport multimodal, emisiile de  $CO_2$  și chiar evaluarea integrată a riscului cantitativ. Această optimizare complexă vizează reducerea costurilor de transport, timpul de transport, riscul și emisiile de  $CO_2$  dintr-o dată.

**Probleme de optimizare integrată cu mai multe noduri, cu mai multe moduri, cu mai multe căi, folosind euristică hibridă** sunt analizate în lucrarea lui Kang, *et al.* [48]. Ei propun un algoritm de optimizare cu dublu strat integrat de *particule Swarm Optimization (PSO)* - *Ant Colony Optimization (ACO)*.

**Optimizarea transportului containerizat în rețele multimodale cu mai multe opțiuni utilizând programarea dinamică** a fost propus de Hao, *et al.* [39].

**Problema de optimizare a rutei folosind algoritmi genetici** a fost sugerată de Jing, *et al.* [47].

Anterior, *Algoritmii genetici* din lucrarea lui Kozan, *et al.* [51], au fost folosiți pentru a optimiza timpul pentru manipularea / transferul containerelor, respectiv timpul la port prin accelerarea operațiilor de manipulare, care este, de asemenea, o problemă NP-hard.

**O abordare distribuită pentru rețelele de transport dependente de timp**, integrate în serviciul de transport multimodal al platformei europene Carlink și validată în scenarii reale a fost propusă de Galvez, *et al.* [34] (Fig. 7). Este inclusă o validare în viața reală pentru un traseu specific dintr-un oraș belgian Arlon, în Luxemburg. În implementarea aplicației mobile aferente din cadrul MTS a platformei Carlink, solicitările sunt trimise către MTS, iar utilizatorii obțin cea mai scurtă cale între două locații selectate.

### 6.1 Timpul de optimizare a transporturilor Multimodal

#### Modele și soluții.

**Timpul de funcționare și reprogramare; soluția: Ant Colony Optimization.** Zidi, *et al.* [136] propune o abordare Ant-Colony Optimization (ACO) pentru reprogramarea rețelelor de transport multimodal. Abordarea anticolonii este cea mai bună în acest caz (reprogramare), deoarece este capabilă să funcționeze dintr-o stare dată și să adapteze soluția doar la noile condiții. Reșalonarea este o necesitate, deoarece sistemul este supus unor perturbări (blocaje, coliziuni, greve) care nu pot fi contabilizate la începutul transportului, dar sunt foarte susceptibile de a introduce întârzieri sau alte discrepanțe.



În plus, Zidi, *et al.* [137], planifică sistemul de transport public, utilizând optimizarea anticoloniilor atunci când programul teoretic nu poate fi respectat; această abordare depășește supraîncărcarea inerentă cu informații ale operatorilor atunci când apare o situație problematică.

**Timp de transport între noduri; soluția: Algoritmi genetici și calea K-cel mai scurt.** Yong, *et al.* [128] ia în considerare timpul de transport între noduri, timpul necesar pentru schimbarea modului și posibilele întârzieri. Aceasta prezintă, de asemenea, un model care vizează minimizarea costurilor de transport și transfer, construit pe un GA bazat pe căi K-cel mai scurt.

**Sistem în timp real.** Nu putem discuta despre optimizările de timp fără a include articolul lui Bock [17] despre "controlul în timp real al rețelelor de transport de marfă". Arhitectura este descrisă în Fig. 8. Abordarea sa integrează transportul multimodal și transbordările multiple. Sistemul în timp real este optimizat continuu pentru a-l adapta la starea actuală a datelor live.

## 6.2 Optimizarea costurilor transportului multimodal

Din perspectiva furnizorului de logistică multimodală, costul poate fi al doilea aspect cel mai important, imediat după satisfacția clientului. Acesta este motivul pentru care optimizarea costurilor este una dintre preocupările fiecărui CEO.

**Modele și soluții.**

**Optimizarea costurilor cu criterii specifice folosind Mixed Integer Linear Programming.** Sitek și Wikarek [104] prezintă această problemă și, de asemenea, un model matematic al unei optimizări a costurilor pe mai multe niveluri prin *Mixed Integer Linear Programming (MILP)*. Aceștia analizează și integrează în algoritmul lor, ca criterii de optimizare, factori precum costurile: *producție, transport, distribuție și Protecția mediului*. În plus, toți acești factori multipli sunt utilizați de Sitek și Wikarek [104] ca criterii de optimizare în algoritmul MILP, unde sunt incluse mai multe criterii: timpul, volumul și capacitatea. Testele pentru a arăta posibilitățile de susținere a deciziilor practice și optimizarea lanțului de aprovizionare au fost efectuate pe date eșantionate.

**Optimizarea costurilor, inclusiv emisiile și economiile terminalului, folosind algoritmi genetici.** Costurile de mediu sunt, de asemenea, discutate în Zhang, *et al.* [132] unde introduc o abordare de optimizare a modelării pentru rețelele de terminale, integrând costurile emisiilor de CO<sub>2</sub> și economiile terminalelor. Algoritmul lor propus este compus din două niveluri: nivelul superior folosește algoritmi genetici pentru a căuta configurațiile optime ale rețelei terminale; nivelul inferior efectuează atribuirea fluxului multi-marfă pe o rețea multimodală. Acest model este aplicat rețelei de terminal de containere olandeze.

## 6.3 Planificarea rețelei și optimizarea transportului multimodal

### Modele și soluții

**Mijloace multiple într-un sistem multimodal.** Van Nes [118] în articolul său, subliniază că este necesară o schimbare în sistemul de transport actual, pentru a aborda probleme precum accesibilitatea centrelor orașului, congestiunea traficului, dar mai ales impactul asupra mediului. În acest sens, combinarea mai multor mijloace într-un sistem cu adevărat multimodal are capacitatea de a valorifica punctele forte ale fiecărui subsistem și de a le limita punctele slabe. Factorii negativi, cum ar fi obligația de transfer, deși nu este foarte comod pentru pasageri, pot avea multe beneficii economice și de mediu pe termen lung. Deci, informațiile de călătorie de înaltă calitate sunt cruciale.

**Perspectiva abstractă a sistemului de rețea de transport multimodal.** Zhang, *et al.* [131] discută exact acest subiect în lucrarea. Ei recunosc necesitatea unor sisteme multimodale de informare a călătorilor fără probleme. Pentru aceasta, ei modelează un sistem de rețea de transport multimodal dintr-un punct de vedere abstract și testează modelul într-un studiu pentru regiunea Eindhoven.

**Constrângerea impactului asupra mediului la planificare.** Impact asupra mediului [132] și dezvoltarea economică sunt cele două motive pentru care Yamada, *et al.* [125] spune că este esențial să se dezvolte și să se proiecteze rețele multimodale eficiente. Folosesc o abordare euristică pentru un algoritm care include elemente precum: transport rutier, legături maritime și terminale de marfă. Modelul lor este aplicat cu succes într-o rețea de planificare în Filipine.

**Echilibru de superrețea pentru lanțul de aprovizionare – transport multimodal** O abordare pe 2 niveluri care utilizează optimizarea roiului de particule este prezentată de Yamada și Febri [126] în articolul lor de echilibru de superrețea. Nivelul superior este rezolvat folosind optimizarea roiurilor de particule, în timp ce decizia de nivel inferior se bazează pe un echilibru al rețelei de aprovizionare - transport multimodal.

**Urgențele rezolvate cu un model de afinitate imună.** Situațiile de urgență sunt abordate de Hu [42]. Lucrarea propune o abordare de planificare a transportului bazată pe modelul de afinitate imună. Lucrarea concluzionează că transportul multimodal de containere va juca un rol important în ajutorul de urgență, datorită exploatarea punctelor forte ale diferitelor sisteme.

**Model practic de atribuire a traficului pentru un sistem de transport multimodal cu grupuri cu mobilitate redusă.** În [134] se propune un echilibru de alegere a rutei pentru vehicule specifice și timpii de călătorie care nu sunt vehicule la proiectarea intersecțiilor. Unele limitări ale modelelor includ ignorarea echilibrului modal de alegere, incertitudinea de deplasare și lipsa unei analize detaliate din cauza datelor insuficiente.

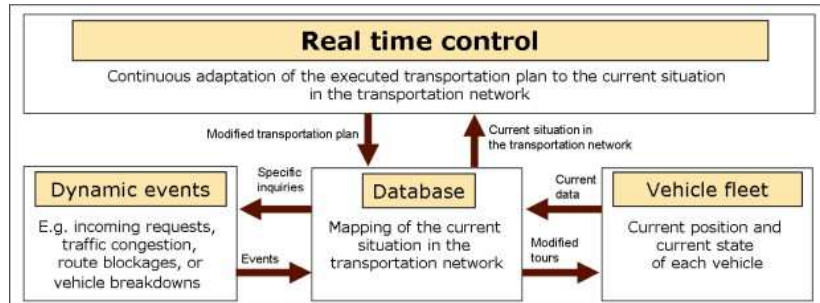


Figure 8: Fluxul de informații într-un sistem de control în timp real al rețelelor de transport [17].

**Model Bayesian pentru opțiunile de transport.** O metodă bayesiană pentru a afla preferințele utilizatorilor cu privire la opțiunile de transport este prezentată de Arentze [12].

**Limitarea timpului pentru constrângerea parcării la planificare.** Parcarea limitată este adresată de Zheng și Geroliminis [135] care are ca scop limitarea timpului pentru parcare.

## 7 Extensii viitoare posibile ale problemei transportului unimodal la transportul multimodal

Deoarece transportul se extinde rapid în întreaga lume, unele probleme existente de transport unimodal și soluțiile lor ar putea fi extinse în plus, incluzând în același timp cerințe specifice pentru rezolvarea problemelor de transport multimodal. Unele dintre aceste probleme sunt descrise în continuare pe scurt.

- A. **Rețele din lanțul de aprovizionare.** Această problemă de transport are diferite versiuni.  
O rețea de lanț de aprovizionare în două etape este considerată aici pentru a optimiza costul de la un producător la un anumit număr de clienți, în timp ce utilizează un set de centre de distribuție.
- B. **(Generalizată) Problemă de rutare a vehiculului (GVRP)** [116] - pentru un anumit set de vehicule și clienți, problema GVRP este de a determina setul optim de rute. Acesta este cel mai important și studiat set de probleme combinatorii.
- C. **(Generalizată) Problema vânzătorului călător** [11] - din 1988 aceasta este una dintre cele mai studiate probleme și originalul din care a evoluat GVRP. Scopul este de a determina un algoritm care calculează ruta optimă în cel mai mic timp posibil.

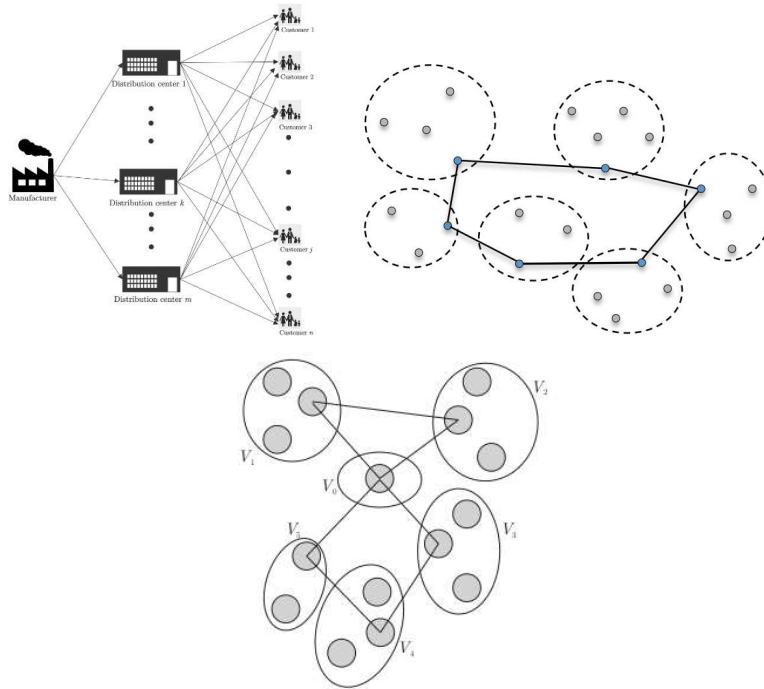


Figure 9: Exemple de soluții fezabile pentru a) lanțul de aprovizionare [87]; b) GTSP [40] și c) GVRP [86].

**Formalizarea abstractă a transportului multimodal** ca concept, este prezentat de Ayed, *et al.* [13]. Teoria graficelor este aplicată în cadrul unui algoritmul pentru a optimiza traseele și ghidarea traseelor. Autorii încearcă să introducă abordarea lor în proiectul Carlink pentru a evalua performanța acestuia. Zhang, *et al.* [133] cercetează, de asemenea, algoritmi pentru a optimiza transportul multimodal printr-o metodă de cale mai scurtă generalizată. Cosma, *et al.* [25] propune o procedură euristică eficientă de căutare locală hibridă iterată pentru a obține soluții de înaltă calitate în timp de funcționare rezonabil.

## 7.1 Rețele din lanțul de aprovizionare

Problema capacităților de transport cu cost fix într-o rețea de lanț de aprovizionare în două etape este (Fig. 9) este definită după cum urmează: un producător, un set de  $m$  centre de distribuție (DC) și un set de  $n$  clienți care îndeplinesc următoarele proprietăți:

- producătorul poate expedia la orice centru de distribuție la un cost de transport  $c_i$ ,  $i \in \{1, \dots, m\}$ ,

- fiecare DC poate expedia către orice client la un cost de transport  $c_{ij}$  de la DC  $i \in \{1, \dots, m\}$  către client  $j \in \{1, \dots, n\}$ , plus un cost fix  $ij$  pentru operarea traseului,
- costurile de deschidere pentru un potențial DC  $i$  sunt notate cu  $f_i$ ,  $i \in \{1, \dots, m\}$ ,
- producătorul are un anumit număr de unități de aprovizionare, fiecare DC  $i \in \{1, \dots, m\}$  are  $SC_i$  unități de capacitate de stocare și fiecare client  $j \in \{1, \dots, n\}$  are o cerere  $D_j$ .

Cerința constă în a determina care DC și rute urmează să fie deschise și dimensiunea transporturilor pe acele rute, astfel încât costurile totale de distribuție care să satisfacă constrângerile de aprovizionare pentru a satisface cerințele clienților sunt minime.

### Modele și soluții: pentru extindere multimodală ulterioară.

**Problema generică a lanțului de aprovizionare** descrie situația în care unul sau mai mulți producători furnizează mai multe centre de distribuție, care furnizează în plus magazine sau clienți locali. Producătorii sunt abstractizați ca surse și magazinele ca destinații.

În abordarea **transportului multimodal**, constrângeri specifice și hub-uri multiple vor fi luate în considerare cu costuri specifice între ele.

**Programarea scopurilor multi-obiectiv.** Roy, *et al.* [99] folosește programarea scopurilor multi-obiective pentru această problemă cu utilizarea unei funcții utilitare pentru selectarea scopurilor funcțiilor obiective.

**Algoritmi genetici.** Pop, *et al.* [89] propune o abordare euristic-genetică cu un GA bazat pe hibrid pentru problema capacității de încărcare fixă. Algoritmul a fost testat pe instanțe de referință și sa constatat că obține rezultate competitive cu alți algoritmi de ultimă generație.

**Alte euristici.** Chen, *et al.* [21] studiază o *problemă incertă privind transportul solid al bicriteriilor*. Moreno, *et al.* [67] folosește o abordare euristică pentru problema mai multor perioade de localizare a transportului. În [82, 84, 87] sunt prezentate mai multe versiuni ale problemelor din lanțului de aprovizionare, inclusiv un sistem eficient de distribuție inversă, caracteristici sigure și ecologice alături de soluții conexe.

## 7.2 Problema generală de rutare a vehiculului ( VRP )

Problemele legate de calcularea rutei optime pentru vehicule de la un unul sau un set de depozite la o mare parte din locațiile finale (sau clienți) sunt cunoscute sub numele Problema de rutare a vehiculului (VRP). Există o literatură bogată cu privire la problemele specifice acestui subiect, abordate de Laporte [54, 55] și cartea editată de Ball, *et al.* [14]).

Problema de rutare a vehiculului încearcă să optimizeze costurile furnizării unui set de locații (puncte) date dintr-un depozit, utilizând un număr limitat de vehicule disponibile. Se cunoaște distanța dintre toate locațiile și capacitatea vehiculelor. Datorită eficacității sale, multe variante ale VRP au fost construite pe VRP de bază cu funcții suplimentare, cum ar fi VRP generalizat (GVRP), Fig. 9.

O versiune a **problemei de rutare generalizată a vehiculului** include proiectarea rutelor optime de livrare sau colectare, luând în considerare și restricțiile de capacitate, de la un depozit dat la un număr de locații organizate în clustere, cu proprietatea că exact un nod este vizitat din fiecare cluster [35,90].

#### **Modele: pentru extindere multimodală suplimentară.**

- *Capacitatea VRP* implică faptul că vehiculele au capacități fixe, iar locațiile au cerințe fixe de timp [116];
- *VRP și Time Windows* necesită o anumită fereastră de timp în care fiecare locație poate fi vizitată [105];
- *VRP și Depozite multiple* presupune mai multe depozite de la care fiecare client poate fi deservit [26];
- *Flotă fixă eterogenă VRP* folosește o flotă de vehicule eterogenă [112];
- *VRP multi-marfă* se ocupă de mai multe mărfuri per vehicul, care are un set de compartimente în care poate fi încărcată o singură marfă [97];

#### **Soluții: pentru extindere multimodală suplimentară.**

**Căutarea Tabu și hibridizarea.** S-au dezvoltat diferiți algoritmi euristici și metaheuristici pentru rezolvarea VRP, inclusiv: un algoritm bazat pe Căutare Tabu, memorie adaptivă și generarea de coloane descrisă de Taillard [112], un algoritm care extinde o serie de euristici clasice VRP urmate de o procedură de căutare locală bazată pe *Căutarea locală cu descendență cea mai abruptă* și Căutarea Tabu introdusă de Prins [95]. Tarantilis, *et al.* [114] a implementat o procedură de acceptare a pragului în care o soluție mai proastă este acceptată numai dacă se află într-un anumit prag. Aceiași autori [113] au prezentat ulterior o altă procedură de acceptare a pragului pentru a rezolva aceeași problemă.

Un algoritm de deplasare *record-to-record* a fost propus de Li, *et al.* [57], o procedură de memorie adaptivă multi-stea combinată cu calea Relinking și o Căutare Tabu modificată a fost dezvoltată de Li, *et al.* [58].

**Iterare de căutare locală și setare partiționară** Subramanian, *et al.* [109] a descris un algoritm hibrid compus dintr-o formulare euristică și setare partiționată bazată pe căutare locală iterată.

**Algoritm Memetic de imigrare.** Matei, *et al.* [63] propune un algoritm memetic imigrațional îmbunătățit care combină puterea algoritmilor genetici cu

avantajele căutării locale. Articolul descrie avantajele abordării imigraționale asupra calității generale a algoritmului (calitatea rezultatului și viteza de rulare). S-au folosit metode de colonii de furnici pentru a rezolva VRP generalizat în [81, 85, 88]. Diverse versiuni a Algoritmilor genetici pentru rezolvarea problemei actuale sunt prezentate în [64, 78, 91, 93].

**Euristică.** În [56] se propune o metodă euristică pentru a găsi decizia optimă de reprovizionare a inventarului atunci când se rezolvă problemele de transport și calitate într-un mod Just-in-Time. A fost propus un model de dimensionare a lotului vânzător-cumpărător; a fost inclus studiul parametrilor și au fost studiate atât cazurile de capacitate și incapacitate. Urmează câteva avantaje ale propunerilor lor. Se obține o soluție fezabilă pentru deciziile de reprovizionare a inventarului; se îmbunătățesc sarcinile utile pentru transport, se reduc defectuoziții produselor și se îmbunătățesc costurile legate de calitate.

### 7.3 Problema generalizată a vânzătorului călător/voiajor

Un caz particular de problemă de rutare a vehiculelor generalizate este problema generalizată a vânzătorului călător, atunci când capacitatea vehiculelor este infinită, deci nu este necesară întoarcerea intermediară la depozit (Fig. 9).

Familia de Probleme de Vânzător Călători (TSP) are o importanță atât istorică, cât și modernă, în ceea ce privește răspunsul la întrebarea:

- Cum putem ajunge la o destinație cât mai rapid și mai economic posibil?
- Având o listă de locații (orașe, adrese), care este cea mai scurtă rută în timp ce vizitați fiecare locație?

(G) TSP este o problemă NP-hard în optimizarea combinatorie. Unele dintre versiunile generalizate necesită utilizarea unui nod dintr-un cluster de noduri pentru a include într-o soluție de rută, de ex. un oraș-nod dintr-un județ-cluster. Deoarece mulți cercetători au detaliat deja această problemă, doar câteva aspecte sunt furnizate aici. Bibliotecile (G) TSP [1–4] sunt actualizate continuu în principal pe baza sistemelor de informații geografice (GIS) [5, 27, 28, 30]. Există multe versiuni ale (G) TSP, majoritatea similare cu VRP. Soluțiile întregi sunt deja cunoscute [6] dar rezolvarea problemelor din viața reală la scară largă necesită strategii actualizate.

**Soluții: pentru extindere multimodală suplimentară.**

**Euristică:** În ceea ce privește VRP, rezolvatorii (G) TSP utilizează în principal euristică: *Căutarea Tabu* [76, 115] utilizează căutarea locală și acceptă mișcări înrăutățite, dar introduc restricții pentru a descuraja soluțiile vizitate anterior; *Programare dinamică* [15]; *Algoritmi de aproximare* [62, 120];

**Algoritmi bio-inspirați** utilizați pentru a rezolva (G) TSP includ: *Recoacere simulată* [9, 73, 121]; *Algoritmii genetici* [43, 50, 59, 92] sunt una dintre cele mai simple modalități de a aborda TSP.

*Optimizarea coloniilor de furnici (ACO)* [22, 31, 61, 65, 79, 83] utilizează trasee feromone pentru a detecta cele mai bune rute; o învățare interactivă de succes (iML) utilizează ACO pentru a rezolva problema vânzătorului călător cu abordarea om-în-bucă [41]; alți rezolvatori naturali de calcul includ: *Optimizarea*

*roiurilor de particule* [24, 61, 72, 122]; *Algoritm discret Cuckoo de căutare* [74] inspirat de comportamentul de reproducere al cucilor; *Algoritmi Firefly* [45, 53] care utilizează conceptul de atracție între agenți specifici și alte euristici și meta-euristici.

**Modele de (G) TSP: pentru extindere multimodală suplimentară.**

**Sistem de transport inteligent** În contextul transportului multimodal, familia de probleme (G) TSP are multe aplicații; de exemplu, ar putea fi extins la un sistem inteligent de transport (ITS) [29, 80].

**Programarea navei.** O aplicație specifică este prezentată de Fagerholt și Christiansen [33] pentru programarea navei. Algoritmul folosește ferestre de timp și alte constrângeri pentru a calcula în mod optim o rută și ordinea porturilor de vizitat. Timpul de calcul rezonabil și rutele optime sunt realizate pentru mai multe cazuri de date reale de planificare a navei.

**Alte modele.** Modelele recente de optimizare permit rezolvarea cazurilor de transport feroviar realist de marfă, o abordare etapizată pentru rezolvarea separată a problemelor de planificare și rutare în prezent sunt predominante.

## 8 Concluzii

Acest sondaj prezintă o revizuire a problemelor din lumea reală, a aplicațiilor și a optimizării în transportul multimodal. Transportul este un element cheie al societății actuale și un motor foarte important pentru creșterea economică. Unele domenii (cum ar fi alimentele, consumabilele medicale) ridică transportul la importanță strategică și, prin urmare, indispensabil. În ultimii zece ani am avut o creștere de două ori a transportului mondial. Această creștere reprezintă ceva, dar este neglijabilă.

Transportul multimodal vine cu mai multe provocări, legate de securitate, timp de așteptare și opțiuni disponibile. În contextul încălzirii globale accelerate de astăzi, este mai important ca niciodată să facem tot ce ne stă în putință pentru a reduce poluarea cât mai mult posibil. În măsura în care transportul poate face acest lucru, limitarea poluării înseamnă optimizarea fiecărei operațiuni pe scară largă. Acest articol a arătat că se poate realiza și, în ultimele decenii, mulți cercetători s-au concentrat pe această chestiune.

Prin urmare, o mare parte de cercetare a fost investită în planificarea și optimizarea transportului, în termeni de cost, timp sau topologia de rețea. Astăzi avem o multitudine de algoritmi și framework-uri care permit companiilor să își îmbunătățească serviciile, să devină mai competitive și, în acest proces, mai ecologice.

Incertitudinile vor coexista cu problema transportului multimodal și, după cum arată cercetările recente, [103] în timp ce se utilizează transportul rutier, feroviar și aerian, ar putea fi utilizate, de exemplu, seturi soft pentru a modela aceste incertitudini legate de atributele transportului (cost, distanță și durata transportului).



Cercetarea transportului multimodal este o provocare continuă în zilele noastre, atât pe partea de teorie (de exemplu, rezolvarea problemei complexe de rutare a vehiculelor), cât și pe aplicabilitate, pentru a obține modele și soluții fezabile pentru diferite mijloace de transport în condiții complexe, cu atribute generale și specifice.

## 9 Livrabile

Nr. livrabil	Termen	Livrabil	Status
D2.1	M4	Literature review paper	Livrat 2019
D2.2	M6	Logistics ontology	Livrat 2019
D2.3	M6	Logistics reference architecture	Livrat 2019
D2.4	M6	Semantically enhanced process modelling methodology	Livrat 2019
D2.5	M9	Scientific paper on framework and implementation	Livrat 2020
D5.1	M20	Visualization and monitoring framework	Livrat în avans 2020
D5.2	M24	Report on the integration tests of the visualization and monitoring framework	2021

## 10 Activități de diseminare

Eveniment	Locație	Data	Link	Rezultate
Post-COVID Digital Revolution	Zoom / Camera de Comerț BN	29.09.2020	<a href="http://www.cciabn.ro/webb/">www.cciabn.ro/webb/</a>	Presentation about using IoT and cloud for increasing the strength of the businesses
Using IoT and cloud infrastructure for developing businesses	Zoom / Camera de Comerț MM	20.10.2020	<a href="http://www.ccimm.ro/">www.ccimm.ro/</a>	Presentation about using IoT and cloud for increasing the strength of the businesses
2nd SFCOLAB International Brainstorming meeting	SFCOLAB	6.11.2020	<a href="http://www.sfcolab.org/">www.sfcolab.org/</a>	Presentation of BSL architecture and its usage on Farm2Food concept
Your Post-COVID Business	Zoom / HOLISUN	26.11.2020	<a href="http://holisun.com/eveniment">holisun.com/eveniment</a>	30 participants

## 11 Articole publicate În 2020

- Avram, A., Matei, O., Pinteș, C. M., & Pop, P. C. (2020). Context quality impact in context-aware data mining for predicting soil moisture. *Cybernetics and Systems*, 51(7), 668-684. (IF=1.434)

Nowadays research has shown that including context-awareness, in a classic data mining (CDM) process can improve the overall results. The current work investigates the impact of context completeness and accuracy over predictive forecasting for soil moisture in a context-aware data mining (CADM) system. Experiments with different levels of noise and missing data in the context were performed using several machine learning algorithms for both CDM and CADM scenarios. The results show that the soil moisture prediction results are improved when using CADM, even if the quality standards are not completely met.

- Avram, A., Matei, O., Pinte, C., & Anton, C. (2020). Innovative Platform for Designing Hybrid Collaborative & Context-Aware Data Mining Scenarios. *Mathematics*, 8(5), 684. (IF=1.71, Q1)  
*The process of knowledge discovery involves nowadays a major number of techniques. Context-Aware Data Mining (CADM) and Collaborative Data Mining (CDM) are some of the recent ones. The current research proposes a new hybrid and efficient tool to design prediction models called Scenarios Platform-Collaborative & Context-Aware Data Mining (SP-CCADM). Both CADM and CDM approaches are included in the new platform in a flexible manner; SP-CCADM allows the setting and testing of multiple configurable scenarios related to data mining at once. The introduced platform was successfully tested and validated on real life scenarios, providing better results than each standalone technique—CADM and CDM. Nevertheless, SP-CCADM was validated with various machine learning algorithms— $k$ -Nearest Neighbour ( $k$ -NN), Deep Learning (DL), Gradient Boosted Trees (GBT) and Decision Trees (DT). SP-CCADM makes a step forward when confronting complex data, properly approaching data contexts and collaboration between data. Numerical experiments and statistics illustrate in detail the potential of the proposed platform.*
- Sattari, M. T., Avram, A., Apaydin, H., & Matei, O. (2020). Soil Temperature Estimation with Meteorological Parameters by Using Tree-Based Hybrid Data Mining Models. *Mathematics*, 8(9), 1407. (IF=1.71, Q1)  
*The temperature of the soil at different depths is one of the most important factors used in different disciplines, such as hydrology, soil science, civil engineering, construction, geotechnology, ecology, meteorology, agriculture, and environmental studies. In addition to physical and spatial variables, meteorological elements are also effective in changing soil temperatures at different depths. The use of machine-learning models is increasing day by day in many complex and nonlinear branches of science. These data-driven models seek solutions to complex and nonlinear problems using data observed in the past. In this research, decision tree (DT), gradient boosted trees (GBT), and hybrid DT-GBT models were used to estimate soil temperature. The soil temperatures at 5, 10, and 20 cm depths*

were estimated using the daily minimum, maximum, and mean temperature; sunshine intensity and duration, and precipitation data measured between 1993 and 2018 at Divrigi station in Sivas province in Turkey. To predict the soil temperature at different depths, the time windowing technique was used on the input data. According to the results, hybrid DT-GBT, GBT, and DT methods estimated the soil temperature at 5 cm depth the most successfully, respectively. However, the best estimate was obtained with the DT model at soil depths of 10 and 20 cm. According to the results of the research, the accuracy rate of the models has also increased with increasing soil depth. In the prediction of soil temperature, sunshine duration and air temperature were determined as the most important factors and precipitation was the most insignificant meteorological variable. According to the evaluation criteria, such as Nash-Sutcliffe coefficient,  $R$ , MAE, RMSE, and Taylor diagrams used, it is recommended that all three (DT, GBT, and hybrid DT-GBT) data-based models can be used for predicting soil temperature.

## References

- [1] Library of sample instances for the TSP.
- [2] TSP sample data instances (William Cook).
- [3] GTSP Instances Library (Daniel Karapetyan).
- [4] GTSP Instances Library (Alexei Zverovitch).
- [5] TSP world-wide countries instances.
- [6] NEOS-Concorde integer TSP solver.
- [7] The transportation planning process: Key issues, 2007. Federal Highway Administration (FHWA).
- [8] Georgia Aifadopoulou, Athanasios Ziliaskopoulos, and Evangelia Chrisohou. Multiobjective optimum path algorithm for passenger pretrip planning in multimodal transportation networks. *Transportation Research Record*, 2032(1):26–34, 2007.
- [9] James RA Allwright and DB Carpenter. A distributed implementation of simulated annealing for the travelling salesman problem. *Parallel Computing*, 10(3):335–338, 1989.
- [10] Luigi Ambrosio, Nicola Gigli, and Giuseppe Savaré. *Gradient flows: in metric spaces and in the space of probability measures*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [11] David L Applegate et al. *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton University Press, 2006.

- [12] Theo A Arentze. Adaptive personalized travel information systems: A bayesian method to learn users' personal preferences in multimodal transport networks. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 14(4):1957–1966, 2013.
- [13] Hedi Ayed et al. Transfer graph approach for multimodal transport problems. In *International Conference on Modelling, Computation and Optimization in Information Systems and Management Sciences*, pages 538–547. Springer, 2008.
- [14] Michael O Ball. Network routing. *Handbooks in Operation Research and Management Science*, 8, 1995.
- [15] Richard Bellman. Dynamic programming treatment of the travelling salesman problem. *Journal of the ACM (JACM)*, 9(1):61–63, 1962.
- [16] Maurizio Bielli, Azedine Boulmakoul, and Hicham Mouncif. Object modeling and path computation for multimodal travel systems. *European Journal of Operational Research*, 175(3):1705–1730, 2006.
- [17] Stefan Bock. Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. *European Journal of Operational Research*, 200(3):733–746, 2010.
- [18] W Bockstael-Blok. Chains and networks in multimodal passenger transport: Exploring a design approach., 2003.
- [19] Aida Bouzir, Bisma Souissi, and Saloua Benammou. Modeling the passengers' waiting times at multimodal stations. In *2014 International Conference on Logistics Operations Management*, pages 139–147. IEEE, 2014.
- [20] Kristof Carlier et al. Transfer: a new equilibrium model for analysing multimodal passenger trips. *Proceedings of ETC 2005, Strasbourg, France 18-20 September 2005-research to Inform Decision-Making in Transport Innovative Methods in Transport Analysis-Planning and Appraisal Assignment*, 2005. 13 pages.
- [21] Lin Chen, Jin Peng, and Bo Zhang. Uncertain goal programming models for bicriteria solid transportation problem. *Applied Soft Computing*, 51:49–59, 2017.
- [22] Chi-Bin Cheng and Chun-Pin Mao. A modified ant colony system for solving the travelling salesman problem with time windows. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(9-10):1225–1235, 2007.
- [23] Nicolas Chiabaut. Evaluation of a multimodal urban arterial: The passenger macroscopic fundamental diagram. *Transportation Research Part B: Methodological*, 81:410–420, 2015.

- [24] Maurice Clerc. Discrete particle swarm optimization, illustrated by the traveling salesman problem. In *New optimization techniques in engineering*, pages 219–239. Springer, 2004.
- [25] Ovidiu Cosma et al. A hybrid iterated local search for solving a particular two-stage fixed-charge transportation problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 10870:684–693, 2018.
- [26] Benoit Crevier, Jean-Francois Cordeau, and Gilbert Laporte. The multi-depot vehicle routing problem with inter-depot routes. *European Journal of Operational Research*, 176(2):756–773, 2007.
- [27] G.-C. Crisan et al. An analysis of the hardness of novel TSP Iberian instances. *Lecture Notes in Computer Science*, 9648:353–364, 2016.
- [28] Gloria Cerasela Crisan et al. Economical connections between several European countries based on TSP data. *Logic Journal of the IGPL*, 28(1):33–44, 2020.
- [29] Gloria Cerasela Crisan et al. Secure traveling salesman problem with intelligent transport systems features. *Logic Journal of the IGPL*, 2020. in press.
- [30] Gloria Cerasela Crisan, Camelia-Mihaela Pinteau, and Vasile Palade. Emergency management using geographic information systems: application to the first Romanian traveling salesman problem instance. *Knowledge and Information Systems*, 50(1):265–285, 2017.
- [31] Marco Dorigo and Luca Maria Gambardella. Ant colonies for the travelling salesman problem. *Biosystems*, 43(2):73–81, 1997.
- [32] Mariagrazia Dotoli, Nicola Epicoco, and Marco Falagario. A technique for efficient multimodal transport planning with conflicting objectives under uncertainty. In *2016 European Control Conference (ECC)*, pages 2441–2446. IEEE, 2016.
- [33] Kjetil Fagerholt and Marielle Christiansen. A travelling salesman problem with allocation, time window and precedence constraints-an application to ship scheduling. *International Transactions in Operational Research*, 7(3):231–244, 2000.
- [34] Carlos Galvez-Fernandez et al. Distributed approach for solving time-dependent problems in multimodal transport networks. *Advances in Operations Research*, 2009, 2009.
- [35] Gianpaolo Ghiani and Gennaro Improta. An efficient transformation of the generalized vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 122(1):11–17, 2000.

- [36] David Glass. *Freight Forwarding and Multi Modal Transport Contracts*. Taylor & Francis, 2013.
- [37] Bruce L Golden, Thomas L Magnanti, and Hien Q Nguyen. Implementing vehicle routing algorithms. *Networks*, 7(2):113–148, 1977.
- [38] Christoph Greulich, Stefan Edelkamp, and Max Gath. Agent-based multimodal transport planning in dynamic environments. In *Annual Conference on Artificial Intelligence*, pages 74–85. Springer, 2013.
- [39] Congli Hao and Yixiang Yue. Optimization on combination of transport routes and modes on dynamic programming for a container multimodal transport system. *Procedia Engineering*, 137(1):382–390, 2016.
- [40] Keld Helsgaun. Solving the Equality Generalized Traveling Salesman Problem using the Lin-Kernighan Helsgaun algorithm, 2014.
- [41] Andreas Holzinger et al. A glass-box interactive machine learning approach for solving NP-hard problems with the Human-in-the-Loop. *Creative Mathematics and Informatics*, 28:121–134, 2019.
- [42] Zhi-Hua Hu. A container multimodal transportation scheduling approach based on immune affinity model for emergency relief. *Expert Systems with Applications*, 38(3):2632–2639, 2011.
- [43] Abid Hussain et al. Genetic algorithm for traveling salesman problem with modified cycle crossover operator. *Computational intelligence and neuroscience*, 2017, 2017.
- [44] Dewan MZ Islam, John Dinwoodie, and M Roe. Promoting development through multimodal freight transport in bangladesh. *Transport Reviews*, 26(5):571–591, 2006.
- [45] Ameer Jaradat et al. Solving traveling salesman problem using firefly algorithm and k-means clustering. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, pages 586–589. IEEE, 2019.
- [46] Yue Yang Gong Jianya. An efficient implementation of shortest path algorithm based on Dijkstra algorithm. *Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping*, 3(004), 1999.
- [47] Xianghe Jing, Yunfei Liu, and Wenjie Cao. A hybrid genetic algorithm for route optimization in multimodal transport. In *2012 Fifth International Symposium on Computational Intelligence and Design*, volume 1, pages 261–264. IEEE, 2012.
- [48] Kai KANG et al. Research of improved integrated optimization model for mode and route in multimodal transportation [j]. *Application Research of Computers*, 5, 2010.

- [49] Athakorn Kengpol, Sopida Tuammee, and Markku Tuominen. The development of a framework for route selection in multimodal transportation. *The International Journal of Logistics Management*, 2014.
- [50] Padmavathi Kora and Priyanka Yadlapalli. Crossover operators in genetic algorithms: A review. *International Journal of Computer Applications*, 162(10), 2017.
- [51] Erhan Kozan and Peter Preston. Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals. *International transactions in operational research*, 6(3):311–329, 1999.
- [52] P Phani Kumar, Manoranjan Parida, and Mansha Swami. Performance evaluation of multimodal transportation systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104(2):795–804, 2013.
- [53] Sharad N Kumbharana and Gopal M Pandey. Solving travelling salesman problem using firefly algorithm. *International Journal for Research in Science & Advanced Technologies*, 2(2):53–57, 2013.
- [54] Gilbert Laporte. What you should know about the vehicle routing problem. *Naval Research Logistics*, 54(8):811–819, 2007.
- [55] Gilbert Laporte and Ibrahim H Osman. Routing problems: A bibliography. *Annals of operations research*, 61(1):227–262, 1995.
- [56] Raden Achmad Chairdino Leuveano et al. Integrated vendor–buyer lot-sizing model with transportation and quality improvement consideration under just-in-time problem. *Mathematics*, 7(10):1–25, 2019. article no. 944.
- [57] Feiyue Li, Bruce Golden, and Edward Wasil. A record-to-record travel algorithm for solving the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 34(9):2734–2742, 2007.
- [58] Xiangyong Li, Peng Tian, and YP Aneja. An adaptive memory programming metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6):1111–1127, 2010.
- [59] Bao Lin Lin, Xiaoyan Sun, and Sana Salous. Solving travelling salesman problem with an improved hybrid genetic algorithm. *Journal of computer and communications.*, 4(15):98–106, 2016.
- [60] Todd Litman. *Introduction to multi-modal transportation planning*. Victoria Transport Policy Institute Canada, 2017.
- [61] Mostafa Mahi, Ömer Kaan Baykan, and Halife Kodaz. A new hybrid method based on particle swarm optimization, ant colony optimization and 3-opt algorithms for traveling salesman problem. *Applied Soft Computing*, 30:484–490, 2015.

- [62] Waqar Malik, Sivakumar Rathinam, and Swaroop Darbha. An approximation algorithm for a symmetric generalized multiple depot, multiple travelling salesman problem. *Operations Research Letters*, 35(6):747–753, 2007.
- [63] Oliviu Matei et al. An improved immigration memetic algorithm for solving the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *Neurocomputing*, 150:58–66, 2015.
- [64] Oliviu Matei and Petrică Pop. An efficient genetic algorithm for solving the generalized traveling salesman problem. In *ICCP Proceedings*, pages 87–92. IEEE, 2010.
- [65] Michalis Mavrovouniotis and Shengxiang Yang. A memetic ant colony optimization algorithm for the dynamic travelling salesman problem. *Soft Computing*, 15(7):1405–1425, 2011.
- [66] Martijn RK Mes and Maria-Eugenia Iacob. Synchronodal transport planning at a logistics service provider. In *Logistics and Supply Chain Innovation*, pages 23–36. Springer, 2016.
- [67] Alfredo Moreno, Douglas Alem, and Deisemara Ferreira. Heuristic approaches for the multiperiod location-transportation problem with reuse of vehicles in emergency logistics. *Computers & Operations Research*, 69:79–96, 2016.
- [68] Sarbast Moslem et al. An integrated approach of best-worst method (bwm) and triangular fuzzy sets for evaluating driver behavior factors related to road safety. *Mathematics*, 8(3):1–20, 2020. article no. 414.
- [69] Aysun Mutlu, Yaşanur Kayıkcı, and Bülent Çatay. Planning multimodal freight transport operations: A literature review. In *22nd International Symposium on Logistics (ISL 2017) Data Driven Supply Chains*, pages 553–560. Nottingham University Business School, 2017.
- [70] Marit K Natvig and Audun Vennesland. Flexible organisation of multimodal travel information services. *IET intelligent transport systems*, 4(4):401–412, 2010.
- [71] Marit Kjsnes Natvig et al. ARKTRANS. the Norwegian system framework architecture for multimodal transport systems supporting freight and passenger transport version 5.0, 2006. SINTEF Rapport A146, 312 pages, SINTEF.
- [72] GC Onwubolu and M Clerc. Optimal path for automated drilling operations by a new heuristic approach using particle swarm optimization. *International Journal of Production Research*, 42(3):473–491, 2004.



- [73] K Otubamowo, TO Egunjobi, and AP Adewole. A comparative study of simulated annealing and genetic algorithm for solving the travelling salesman problem. *International Journal of Applied Information Systems*, 2012.
- [74] Aziz Ouaraab, Belaid Ahiod, and Xin-She Yang. Discrete cuckoo search algorithm for the travelling salesman problem. *Neural Computing and Applications*, 24(7-8):1659–1669, 2014.
- [75] Photis M Panayides and Dong-Wook Song. Evaluating the integration of seaport container terminals in supply chains. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(7):562–584, 2008.
- [76] Odivaney Pedro, Rodney Saldanha, and Ricardo Camargo. A tabu search approach for the prize collecting traveling salesman problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 41:261–268, 2013.
- [77] Zuzanna Peplowska-Dabrowska and Justyna Nawrot. *Codification of Maritime Law: Challenges, Possibilities and Experience*. Taylor & Francis, 2019.
- [78] Adrian Petrovan et al. A self-adapting immigrational genetic algorithm for solving a real-life application of vehicle routing problem. In *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software*, pages 144–156. Springer, 2019.
- [79] C-M. Pintea. A unifying survey of agent-based approaches for Equality-Generalized Traveling Salesman Problem. *Informatica*, 26(3):1–14, 2015.
- [80] C.-M. Pintea, G. C. Crisan, and P. C. Pop. Towards secure transportation based on intelligent transport systems. novel approach and concepts. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 771:469–477, 2018.
- [81] C-M. Pintea et al. Sensitive ants in solving the Generalized Vehicle Routing Problem. *International Journal of Computer Communication & Control*, 6(4):731–738, 2011.
- [82] C-M. Pintea et al. Towards a secure two-stage supply chain network: A transportation-cost approach. In *Advances in Intelligent Systems and Computing*, volume 527, pages 547–554. Springer, 2016.
- [83] C-M. Pintea, P.C. Pop, and D. Dumitrescu. An ant-based technique for the Dynamic Generalized Traveling Salesman Problem. *International Conference on Systems Theory and Scientific Computation*, pages 257–261, 2007.
- [84] C.M. Pintea et al. Towards secure & green two-stage supply chain networks. *Logic Journal of the IGPL*, 27:137–148, 2019.

- [85] P.C. Pop et al. Solving the Generalized Vehicle Routing Problem with an ACS-based algorithm. In C. Enachescu and et. al, editors, *BICS 2008*, volume 1117, pages 157–162. AIP, Springer, 2009.
- [86] P.C. Pop et al. Heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem. *International Journal of Computer Communication & Control*, VI:158–165, 2011.
- [87] P.C. Pop et al. An efficient reverse distribution system for solving sustainable supply chain network design problem. *Journal of Applied Logic*, 2(13):105–113, 2014.
- [88] P.C. Pop, C-M. Pintea, and D. Dumitrescu. An ant colony algorithm for solving the Dynamic Generalized Vehicle Routing Problem. *Civil Engineering*, 1(11):373–382, 2009.
- [89] Petrica Pop et al. A hybrid based genetic algorithm for solving a capacitated fixed-charge transportation problem. *Carpathian Journal of Mathematics*, pages 225–232, 2016.
- [90] Petrica Pop, Oliviu Matei, and Corina Pop Sitar. An improved hybrid algorithm for solving the generalized vehicle routing problem. *Neurocomputing*, 109:76–83, 2013.
- [91] Petrica Pop, Oliviu Matei, and Honoriu Valean. An efficient hybrid soft computing approach to the generalized vehicle routing problem. In *Advances in Intelligent and Soft Computing*, volume 87, pages 281–289. Springer, 2011.
- [92] Petrica Pop, Matei Oliviu, and Cosmin Sabo. A hybrid diploid genetic based algorithm for solving the generalized traveling salesman problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 10334:149–160, 2017.
- [93] Petrica C Pop et al. A genetic algorithm for solving the generalized vehicle routing problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 6077:119–126, 2010.
- [94] Andrew Potter et al. Multimodal supply chains: iron ore from australia to china. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2011.
- [95] Christian Prins. Efficient heuristics for the heterogeneous fleet multitrip vrp with application to a large-scale real case. *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 1(2):135–150, 2002.
- [96] GLL Reniers and Wout Dullaert. A method to assess multi-modal hazmat transport security vulnerabilities: Hazmat transport sva. *Transport policy*, 28:103–113, 2013.
- [97] Panagiotis P Repoussis, Christos D Tarantilis, and George Ioannou. A hybrid metaheuristic for a real life vehicle routing problem. In *International Conference on Numerical Methods and Applications*, pages 247–254. Springer, 2006.

- [98] Jean-Paul Rodrigue and Brian Slack. Intermodal transportation and containerization. In Jean-Paul Rodrigue, editor, *The geography of transport systems*, chapter 5. Routledge, New York, 2020.
- [99] Sankar Kumar Roy, Gurupada Maity, and Gerhard-Wilhelm Weber. Multi-objective two-stage grey transportation problem using utility function with goals. *Central European Journal of Operational Research*, 25(2):417–439, 2017.
- [100] Sandeep Saharan, Seema Bawa, and Neeraj Kumar. Dynamic pricing techniques for intelligent transportation system in smart cities: A systematic review. *Computer Communication*, 150:603–625, 2020.
- [101] Jörg Schöharting et al. Towards the multimodal transport of people and freight: interconnective networks in the rheinruhr metropolis. *Journal of Transport Geography*, 11(3):193–203, 2003.
- [102] Hans-Joachim Schramm. *Freight forwarder’s intermediary role in multimodal transport chains: A social network approach*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [103] Gaurav Sharma, Vaibhav Sharma, Kamal Raj Pardasani, and Mohammed Alshehri. Soft set based intelligent assistive model for multiobjective and multimodal transportation problem. *IEEE Access*, 8:102646–102656, 2020.
- [104] P. Sitek and J. Wikarek. Cost optimization of supply chain with multimodal transport. In *2012 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, pages 1111–1118, 2012.
- [105] M.M. Solomon. Algorithms for the vehicle routing problem with time windoes. *Transportation Science*, 29(2):156–166, 1995.
- [106] Theodore P Stank, Scott B Keller, and Patricia J Daugherty. Supply chain collaboration and logistical service performance. *Journal of Business logistics*, 22(1):29–48, 2001.
- [107] Miomir Stanković et al. A new fuzzy marcos method for road traffic risk analysis. *Mathematics*, 8(3):1–18, 2020. article no. 457.
- [108] M. SteadieSeifi et al. Multimodal freight transportation planning: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 233(1):1–15, 2014.
- [109] Anand Subramanian et al. A hybrid algorithm for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 221(2):285–295, 2012.
- [110] Lijun Sun et al. Characterizing multimodal transfer time using smart card data: the effect of time, passenger age, crowdedness, and collective pressure, 2015. 15 pages.

- [111] Joseph S Szyliowicz, Luca Zamparini, Genserik LL Reniers, and Dawna L Rhoades. *Multimodal transport security: frameworks and policy applications in freight and passenger transport*. Edward Elgar Publishing, 2016.
- [112] Éric D Taillard. A heuristic column generation method for the heterogeneous fleet vrp. *RAIRO-Operations Research*, 33(1):1–14, 1999.
- [113] Christos Tarantilis, Chris Kiranoudis, and Vassilios Vassiliadis. A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, 152(1):148–158, 2004.
- [114] Christos D Tarantilis, Chris T Kiranoudis, and Vassilios S Vassiliadis. A list based threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society*, 54(1):65–71, 2003.
- [115] R Thamilselvan and P Balasubramanie. A genetic algorithm with a tabu search (gta) for traveling salesman problem. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(1):607, 2009.
- [116] Paolo Toth and Daniele Vigo. *The vehicle routing problem*. SIAM, 2002.
- [117] Rob van Nes. Design of multimodal transport networks: A hierarchical approach, 2002.
- [118] Robertus Van Nes. *Design of multimodal transport networks: A hierarchical approach*. Delft University Press, 2002.
- [119] W-J Van Schijndel and J Dinwoodie. Congestion and multimodal transport: a survey of cargo transport operators in the Netherlands. *Transport Policy*, 7(4):231–241, 2000.
- [120] Sundar Vishwanathan. An approximation algorithm for the asymmetric travelling salesman problem with distances one and two. *Information Processing Letters*, 44(6):297–302, 1992.
- [121] ChangYing Wang et al. Solving travelling salesman problem using multi-agent simulated annealing algorithm with instance-based sampling. *International Journal of Computing Science and Mathematics*, 6(4):336–353, 2015.
- [122] Kang-Ping Wang et al. Particle swarm optimization for traveling salesman problem. In *Proceedings of the International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, volume 3, pages 1583–1585. IEEE, 2003.
- [123] Zhanzhong Wang, Minghang Zhang, Ruijuan Chu, and Liying Zhao. Modeling and planning multimodal transport paths for risk and energy efficiency using and/or graphs and discrete ant colony optimization. *IEEE Access*, 8:132642–132654, 2020.

- [124] Yair Wiseman and Yahel Giat. Multimodal passenger transportation security in israel. In *Multimodal Transport Security*. Edward Elgar Publishing, 2016.
- [125] Tadashi Yamada et al. Designing multimodal freight transport networks: A heuristic approach and applications. *Transportation science*, 43(2):129–143, 2009.
- [126] Tadashi Yamada and Zukhruf Febri. Freight transport network design using particle swarm optimisation in supply chain–transport supernetwork equilibrium. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 75:164–187, 2015.
- [127] Tadashi Yamada, Bona Frazila Russ, and Jun Castro. Optimal planning of multimodal freight transport network. *Doboku Gakkai Ronbunshuu D*, 63(2):103–109, 2007.
- [128] Zeng Yong-chang, Wang Yong, and Lai Zhi-zhu. Research on model and algorithm of multimodal transportation with time windows. *Industrial Engineering Journal*, 2, 2009.
- [129] Kum Fai Yuen and Vinh Thai. Barriers to supply chain integration in the maritime logistics industry. *Maritime Economics & Logistics*, 19(3):551–572, 2017.
- [130] Milad Zamanifar and Timo Hartmann. Literature review of optimization based decision model for disaster recovery planning of transportation network. *DepositOnce TU Berlin*, 2020. 8 pages.
- [131] Jianwei Zhang et al. A multimodal transport network model for advanced traveler information systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20:313–322, 2011.
- [132] Mo Zhang, Bart Wiegman, and Lori Tavasszy. Optimization of multimodal networks including environmental costs: a model and findings for transport policy. *Computers in industry*, 64(2):136–145, 2013.
- [133] Su-qi Zhang and Kuo-Ping Lin. Short-term traffic flow forecasting based on data-driven model. *Mathematics*, 8(2):1–17, 2020. article no. 152.
- [134] Tao Zhang et al. A practical traffic assignment model for multimodal transport system considering low-mobility groups. *Mathematics*, 8(3):1–19, 2020. article no.351.
- [135] Nan Zheng and Nikolas Geroliminis. Modeling and optimization of multimodal urban networks with limited parking and dynamic pricing. *Transportation Research Part B: Methodological*, 83:36–58, 2016.

- [136] S Zidi and S Maouche. Ant colony optimization for the rescheduling of multimodal transport networks. In *The Proceedings of the Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications*, volume 1, pages 965–971. IEEE, 2006.
- [137] Salah Zidi, Salah Maouche, and Slim Hammadi. Real-time route planning of the public transportation system. In *2006 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference*, pages 55–60. IEEE, 2006.
- [138] Konstantinos G Zografos and Konstantinos N Androutsopoulos. Algorithms for itinerary planning in multimodal transportation networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 9(1):175–184, 2008.