

MONITORIZAREA TRAFICULUI FERROVIAR PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2

RAIL TRAFFIC MONITORING THROUGH THE ETCS SYSTEM - LEVEL 2

Gabriel POPA¹, Alexandru BADEA², Florian Ion PETRESCU³,
Constantin BIBIRE⁴, George DUMITRU⁵, Melania TUDOSE DUMITRU⁶

¹Universitatea Politehnică București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România
e-mail: Gabriel POPA: gabi21popa@yahoo.com

^{2,3,4}Universitatea Politehnică București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România
e-mail: Alexandru BADEA: alexsinaia@yahoo.com, Florian Ion PETRESCU:
petrescufit@gmail.com, Constantin BIBIRE: constantin.bibire@yahoo.com

⁵Autoritatea Feroviară Română - Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România
e-mail: George DUMITRU: george.dumitru.cfr@gmail.com

⁶Universitatea Ecologică București, Bld. „Vasile Milea” nr. 1G, sect. 6, București, România
e-mail autor: Melania TUDOSE DUMITRU: melania76dumitru@gmail.com

Rezumat: *Lucrarea oferă o introducere în programul de semnalizare feroviar european, un program care înlocuiește întreaga semnalizare feroviară; și proiectul de cercetare care însoțește programul de semnalizare la nivel științific avansat. Motivați de provocările legate de verificarea și validarea noilor sisteme de control feroviar care urmează să fie desfășurate în cadrul Programului de semnalizare, obiectivul nostru constând în prezentarea unei metode și a instrumentelor care să sprijine dezvoltarea și verificarea eficientă a traficului feroviar. Cu un accent principal pe sistemele de control feroviare cu caracteristici ale liniei de produse, această lucrare arată cum obiectivul este îndeplinit prin contribuțiile principale ale lucrării: o metodă holistică pentru verificarea și validarea sistemelor de control feroviar cu caracteristicile liniei de produse și aplicare a sa în viitoarele sisteme de interblocare europene.*
Cuvinte cheie: *control, eurobaliză, interblocare, secțiune, semnalizare.*

Abstract: *The paper provides an introduction to the European Railway Signaling Program, a program that replaces the entire railway signaling and the research project that accompanies the scientifically advanced signaling program. Motivated by the challenges related to the verification and validation of the new railway control systems to be deployed in the Signaling Program, our goal is to present a method and tools to support the development and efficient verification of rail traffic. With a main focus on rail control systems with product line characteristics, this paper shows how the objective is achieved through the main contributions of the paper, namely a holistic method for verifying and validating rail control systems with product line characteristics and its application in future European interlocking systems.*
Keywords: *control, eurobalise, interlocking, section, signaling.*

1. PROGRAMUL DE SEMNALIZARE

În 2007, guvernul a decis să investească într-o reînnoire totală a sistemelor de semnalizare feroviară în programul de semnalizare feroviar [1].

Programul își propune să înlocuiască întregul sistem de semnalizare feroviară, care se

apropie de sfârșitul vieții, de sistemele de semnalizare standardizate europene - Sistemul european de gestionare a traficului feroviar „European Rail Traffic Management System” (ERTMS) / Sistemul european de control al trenurilor- Nivel 2 („European Train Control System” - ETCS) [2]. Este pentru prima dată când s-a încercat o reînnoire la această scară, cu o investiție estimată la 797 EURO pe kilometru pentru echipamentele din teren [1]. Programul de semnalizare este de așteptat să aducă multiple beneficii pentru clienți, proprietarii de infrastructură feroviară și operatorii feroviar:

- punctualitate mai bună, viteză crescută a liniei și capacitate mai mare. Se așteaptă o scădere cu 80% a întârzierilor legate de semnal pe liniile principale și regionale ca urmare a programului de semnalizare;

- nivel de siguranță mai ridicat și mai omogen;
- întreținere economică în viitor;
- control mai bun al traficului centralizat, o mai bună optimizare a energiei și informații mai bune pentru pasageri.

- dublarea numărului de călători până în 2030, vizează un sistem de transport public mai ecologic.

Programul de semnalizare este în prezent în desfășurare, cu unele părți ale noilor sisteme în faza de implementare timpurie.

2. ERTMS/ETCS

Sistemul european de gestionare a traficului feroviar (ERTMS) este o inițiativă implementată de Comisia Europeană (CE) pentru a spori interoperabilitatea transfrontalieră și siguranța traficului feroviar în întreaga Europă [3]. ERTMS este primul standard internațional pentru sistemele de comunicații de comandă - tren și tren - sol. ERTMS constă din două subsisteme complementare:

- Căile ferate GSM (GSM-R);
- Sistemul european de control al trenurilor (ETCS).

ERTMS nu este avansat din punct de vedere tehnologic în ceea ce privește subsistemele sale: tehnologiile subsistemelor există acolo de ani de zile, unele tehnologii vor fi chiar învechite, de exemplu, GSM-R. Cu toate acestea, ERTMS este revoluționar în sensul că îmbină tehnologiile existente pentru a crea o soluție cuprinzătoare pentru interoperabilitate și siguranță în căile ferate. Prin urmare, CE obligă căile ferate europene să desfășoare ERTMS pentru noile lor sisteme feroviare prin Directiva Consiliului 96/48/CE [4] și prin Decizia 2001/260/CE a Comisiei Europene [5]. Datorită avantajelor sale, ERTMS a crescut din Europa și a devenit un standard global pentru căile ferate: multe țări din afara Europei au început să implementeze ERTMS pentru sistemele lor feroviare [6].

GSM-R. GSM-Railways (GSM-R) oferă canale de date pentru comunicațiile tren-sol prin adaptarea bine cunoscutului standard de comunicație fără fir comercial Global System for Mobile Communications (GSM) la aplicațiile feroviare.

Deși GSM-R este mandatat de standardul ERTMS, s-a demonstrat că GSMR are o serie de neajunsuri, cum ar fi suport tehnic limitat în viitor, capacitate redusă și multe altele [7]. Pentru a depăși astfel de neajunsuri, noi standarde de comunicații wireless au fost cercetate ca alternative pentru GSMR în viitor.

Sistemul european de control al trenurilor (ETCS) este un sistem de semnalizare feroviară de ultimă generație, control al trenurilor și sistem de protecție a trenurilor care îmbunătățește interoperabilitatea, siguranța și capacitatea traficului feroviar. Pe baza

MONITORIZAREA TRAFICULUI FERROVIAR PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2

comunicării furnizate de GSM-R, ETCS gestionează și supraveghează mișcările trenului. Două caracteristici principale furnizate de ETCS sunt:

- semnalizarea în cabina de conducere a trenului;
- protecția automată a trenului (ATP) [8].

Semnalizare în cabină: în sistemele tradiționale de semnalizare feroviară, semnalele luminoase clasice de culoare - care sunt instalate fizic de-a lungul șinelor într-o cale ferată dată, aceste semnale color sunt înlocuite de interfața mecanic-locomotivă (DMI) din cabina mecanicului. DMI afișează toate comenzile de la centrul de control și alte informații către mecanic. Aceasta este denumită semnalizare în cabina de conducere a trenului de conducere a trenului. Semnalizarea în cabină reduce riscul de erori umane comise de mecanicii de locomotivă. În primul rând, reduce riscul ca mecanicul să observe un semnal greșit, să rateze un semnal sau să interpreteze greșit semnificația unui semnal. În al doilea rând, DMI oferă mecanicilor informații mult mai precise, detaliate și frecvente, ceea ce reprezintă un mare sprijin pentru mecanicii de locomotivă în conducerea trenului.

Protecția automată a trenurilor (ATP): ATP este un sistem care supraveghează mecanicul de tren al unui tren. ATP calculează o curbă de frânare [9] care descrie limita superioară sigură a vitezei trenului la o anumită locație pe baza profilului de viteză curentă, a caracteristicilor trenului și a autorității de circulație curente acordate trenului. Viteza reală și poziția trenului sunt apoi comparate cu această curbă de frânare pentru a se asigura că mecanicul de locomotivă respectă toate regulile de semnalizare. ATP va lua măsuri imediate pentru a preveni apariția unor situații periculoase [10]. De exemplu, ATP va declanșa frânele de urgență dacă trenul circulă prea repede în comparație cu viteza permisă. În plus, curba de frânare poate servi drept ghid pentru ca mecanicul de locomotivă să aibă o conducere optimă și lină. Un exemplu de astfel de monitorizare este modulul de monitorizare a vitezei plafonului (CSM) de pe computerul de bord ETCS. CSM a fost modelat și analizat în [11].

ETCS este specificat la cinci niveluri diferite de aplicație: 0, NTC, 1, 2 și 3 [9].

Aceste niveluri diferă în ceea ce privește eficiența, siguranța și costul investiției: nivelul 0 este cel mai puțin autonom nivel în care trenurile echipate cu ETCS - adică trenurile echipate cu echipamente ETCS la bord - funcționează în sisteme de cale fără montaj, în timp ce nivelul 3 este cel mai autonom nivel în care autoritățile de circulație și poziția trenurilor sunt monitorizate și comunicate prin rețeaua de comunicații radio. Proprietarii de infrastructură feroviară pot alege un nivel adecvat pe baza cerințelor și strategiilor lor specifice. ETCS nivelul 2 va fi implementat în România prin Programul de semnalizare românesc.

3. ARHITECTURA SISTEMULUI ETCS - NIVEL 2

Arhitectura ETCS nivel 2 va fi introdusă pe scurt. Introducerea acesteia este doar pentru a se înțelege contextului lucrării, prin urmare este prezentată doar o arhitectură simplificată. Figura 1 prezintă o arhitectură schematică simplificată a nivelului ETCS 2. ETCS este împărțit în două subsisteme generale: la bord și pe cale.

Subsistemul de la bord, cunoscut și sub denumirea de unitate de bord (OBU) în terminologia ETCS, este un set de elemente ETCS instalate pe un tren. Un tren echipat cu un subsistem ETCS la bord este denumit un tren montat ETCS. Unele dintre elementele OBU sunt enumerate în cele ce urmează:

- European Vital Computer (EVC): EVC este creierul unui OBU. Este responsabil pentru toate calculele și logica sistemului la bordul trenului. EVC are interfețe cu trenul și

alte module din OBU. Acesta orcheestrează toate operațiunile din subsistemul de la bord;

➤ Driver Machine Interface (DMI): DMI este interfața dintre mecanicul de locomotivă și OBU. DMI afișează mecanicului toate informațiile necesare, de exemplu, viteza curentă a trenului sau limita curentă de viteză. DMI servește și ca dispozitiv de intrare pentru ca driverul să introducă informații pentru configurarea OBU;

➤ Modulul GSM-R furnizează interfața de comunicație către Radio Block Center (RBC) din subsistemul de cale;

➤ Modulul de transmisie Balise (BTM): BTM citește informațiile stocate în Eurobalises plasate de-a lungul căii pe măsură ce trenul le trece. Aceste informații sunt esențiale pentru ca OBU să calculeze curbele de frânare;

➤ Odometrie: sistemul de odometrie estimează viteza curentă a trenului și poziția acestuia în raport cu ultima locație de referință specificată de ultimele Eurobalize pe care le-a trecut trenul.

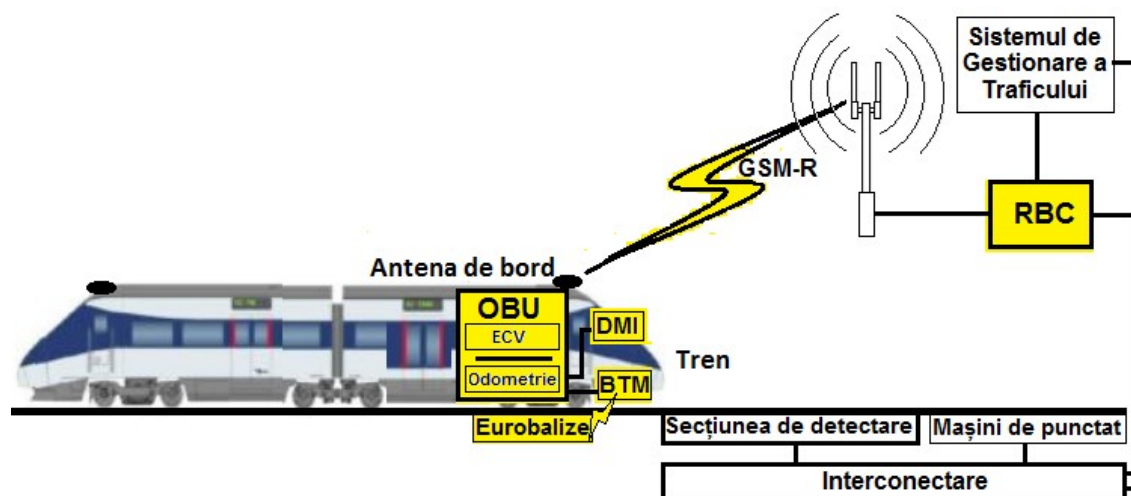


Fig. 1. Arhitectura schematică a ETCS nivel 2

Subsistemul de cale este format din elemente care sunt instalate de-a lungul căii ferate. Unele dintre elemente sunt enumerate în cele ce urmează.

Eurobalizele sunt balize de referință instalate de-a lungul căii. Fiecare Eurobaliză conține informații despre locația sa exactă și caracteristicile urmelor, cum ar fi gradient sau frecare.

Sistemele de blocare sunt responsabile pentru ghidarea trenurilor în siguranță prin rețea. Sistemele de interblocare sunt explicate mai amănunțit ulterior.

Sistemul de gestionare a traficului (TMS) este un sistem centralizat care gestionează traficul general și interfețele cu semnalizatorii, sistemele de programare și sistemele de informații despre trafic.

Radio Block Center (RBC) gestionează trenurile care circulă în cadrul rețelei feroviare aflate sub controlul său. Acesta folosește informațiile furnizate de sistemul de gestionare a traficului, OBU-ul pe trenurile din rețeaua feroviară sub control și interblocarea pentru a calcula pentru fiecare autoritate de circulație a trenului (MA), dictând cât de departe poate merge trenul. RBC este, de asemenea, responsabil pentru comunicarea vocală și serviciile de date.

În cele ce urmează, vom oferi o versiune simplificată a unui scenariu operațional

MONITORIZAREA TRAFICULUI FERROVIAR PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2

tipic în ETCS nivel 2 pentru a ilustra modul în care diferite sisteme din ETCS nivel 2 funcționează împreună:

(1) OBU-ul unui tren trimite o cerere MA prin GSM-R către RBC-ul curent la care este înregistrat trenul. AM solicită autorizație pentru a trece mai departe;

(2) RBC, după ce primește cererea MA, consultă TMS cu privire la orarul trenului pe baza identificatorului înregistrat pentru tren, pentru a stabili care trasee vor fi stabilite (adică rezerve) pentru tren;

(3) RBC solicită interblocarea să stabilească traseul (rutele) pentru tren conform specificațiilor din orar;

(4) Blocarea verifică starea secțiunilor de cale, a punctelor și le stabilește la stări adecvate pentru ca trenul să treacă în siguranță. Ulterior, interblocarea notifică RBC că traseele au fost setate;

(5) RBC calculează noul MA și îl trimite la tren. Noul MA dictează cât de departe poate merge trenul și viteza maximă permisă;

(6) OBU, atunci când primește noul MA, calculează noua curbă de frânare pe baza noii MA și a informațiilor (de exemplu, locație, caracteristici ale căii) pe care le-a obținut de la Eurobalize. Apoi, noile informații sunt afișate mecanicului de locomotivă prin intermediul DMI. Noua curbă de frânare este, de asemenea, alimentată către ATP pentru a proteja în siguranță trenul.

4. SISTEME DE INTERBLOCARE FERROVIARĂ

Un sistem de interblocare feroviară (prescurtat ca interblocare) este responsabil pentru ghidarea în siguranță a trenurilor printr-o rețea feroviară dată. Este o parte vitală a oricărui sistem de semnalizare feroviară și are cel mai înalt nivel de integritate a siguranței (SIL4) conform standardului CENELEC 50128 [12]. Un sistem de interblocare monitorizează elementele de cale ferate ale rețelei feroviare aflate sub controlul său și le setează la o configurație adecvată, astfel încât trenurile să poată circula prin rețea fără a fi deraiate sau ciocnite cu altele [13].

Interblocările sunt clasificate în următoarele tipuri pe baza tehnologiilor lor de blocare [13]:

(1) blocările mecanice sunt cel mai vechi tip de blocaje. Mecanismul lor de blocare este pur mecanic, utilizând pârghii pentru a acționa diferite elemente de cale la configurația dorită;

(2) blocarea releelor constă din circuite electrice complexe formate din relee electrice (comutatoare acționate electric) dispuse conform unei anumite logici de blocare. Această logică de interblocare asigură faptul că, odată ce elementele laterale sunt blocate într-o anumită configurație, toate celelalte configurații conflictuale care pot duce la coliziuni sau deraiieri nu pot fi blocate în același timp;

(3) blocările electronice (cunoscute și sub numele de blocaje în stare solidă sau blocaje computerizate) sunt cele mai recente tipuri de blocări în care logica de blocare este implementată de software, mai degrabă decât de circuite cu cabluri dure. Deoarece interblocările electronice sunt dezvoltate după interblocările releelor, implementarea software a mecanismului de blocare imită adesea circuitele cu fir. Interblocările electronice oferă, de asemenea, funcționalități suplimentare în comparație cu alte tipuri de interblocări, datorită resurselor disponibile în implementarea software-ului.

Există trei abordări principale în ceea ce privește implementarea interconectată:

(a) pe bază de traseu. Într-o interblocare bazată pe rută, rețeaua feroviară este împărțită în fracții fixe numite rute [13, 14]. O singură logică centralizată de blocare (fie prin cablu, fie implementată de software) controlează elementele din structura rețelei feroviare și rezerva traseele pentru trenuri.

(b) Comunicare. Similar cu abordarea bazată pe rută, într-o interblocare bazată pe comunicare [15; 16], există o logică de control centralizată. Cu toate acestea, rețeaua feroviară nu este împărțită în fracțiuni fixe. În schimb, trenurile mențin o comunicare constantă cu logica de interblocare și își raportează pozițiile pe șinele ferate. Logica de interblocare asigură faptul că fiecare tren aflat sub controlul său are o distanță de siguranță adecvată cu alte trenuri din față sau din spatele acestuia. Cu alte cuvinte, logica de interblocare menține pentru fiecare tren aflat sub controlul său o anvelopă de siguranță, similar cu controlul traficului aerian.

Pe bază geografică. Într-o interconectare bazată pe geografie, [17, 18, 19, 20], logica de interblocare este distribuită elementelor din aspectul rețelei. Pentru a rezerva o fracțiune din rețea pentru un tren, mesajele sunt transmise între elementele aferente, urmând un protocol predefinit. Scopul acestui protocol este de a ajunge la un acord consens privind rezervarea fracției de rețea.

Blocările nu sunt specificate în standardul ETCS. În principiu, orice blocare cu releu sau blocare electronică poate funcționa cu un sistem montat pe ETCS, cu condiția ca acestea să fie compatibile cu ETCS. În mod tradițional, interblocările utilizează semnale luminoase color pentru a transmite permisiunile de a conduce înainte spre trenuri. Dimpotrivă, în ETCS nivel 2, aceste permisiuni sunt transmise de către autoritățile de circulație comunicate trenurilor printr-o RBC și o rețea radio. În acest scop, conceptul de semnal virtual - semnale care joacă același rol ca semnalele color tradiționale, dar nu există fizic - este utilizat în interfața dintre ETCS și interblocări.

5. SISTEME DE INTERBLOCARE NOI

În această parte, introducem pe scurt noile sisteme de interblocare [21] - sisteme de interblocare electronice și bazate pe rute conform categoriilor prezentate în secțiunea 5.1 - și terminologia domeniului. În secțiunea 5.1 se descriu diferite componente ale unei specificații a unui sistem de blocare care este compatibil cu ETCS nivel 2. Apoi, în secțiunea 5.2 explică principiile de blocare și procedura strictă pe care sistemele de blocare o folosesc pentru a asigura siguranța. În final, în secțiunea 5.3 se explică caracteristica de lansare secvențială a noilor sisteme de interblocare feroviare.

5.1. Specificația sistemelor de interblocare

Specificația unui anumit sistem de blocare constă din două componente principale: (1) o rețea feroviară și (2) o masă de interblocare corespunzătoare.

O rețea feroviară la nivelul 2 ETCS constă dintr-o serie de elemente de cale de diferite tipuri: (a) secțiuni liniare, (b) puncte și (c) plăci de marcare.

În figura 2 se prezintă un exemplu de dispunere a unei rețele feroviare care are șase secțiuni liniare (*b10*, *t10*, *t12*, *t14*, *t20*, *b14*), două puncte (*t11*, *t13*) și opt plăci de marcare (*mb10* ... *mb21*).

Diferite tipuri de elemente de cale sunt descrise în detaliu în cele ce urmează.

(a) O secțiune liniară este o secțiune (segment de cale) cu până la două secțiuni învecinate: una în capătul sus și una în capătul jos. De exemplu, secțiunea liniară *t12* din figura 2 are *t13* și *t11* ca secțiuni învecinate la capătul de sus și respectiv capătul jos. Pentru

MONITORIZAREA TRAFICULUI FERROVIAR PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2

simplitate, în exemplele și figurile din restul acestei lucrări, se presupune că direcția sus (jos) este direcția stânga-dreapta (dreapta-stânga), dacă nu este indicat altfel.

(b) Un punct poate avea până la trei vecini: unul la tulpină, unul la capătul plus și unul la capătul minus, de exemplu, punctul $t11$ din figura 2 are $t10$, $t12$ și $t20$ ca vecini la tulpina sa, plus și minus se termină, respectiv. Capetele unui punct sunt denumite astfel încât tulpina și capetele plus formează calea dreaptă (principală) prin punct, iar capetele tulpinii și minusul formează calea de ramificare prin punct. Un punct poate fi comutat între două poziții: plus și minus.

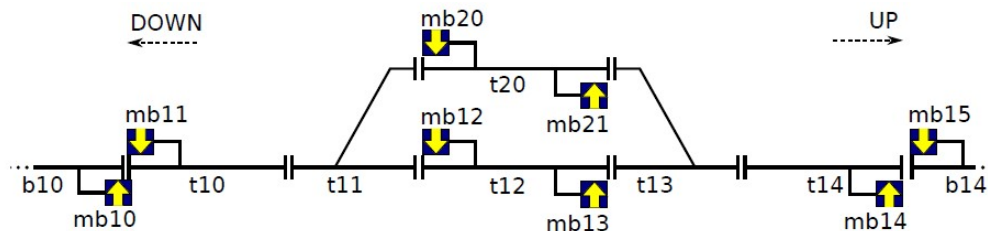


Fig. 2. Tip de amenajare a rețelei feroviare

Atunci când un punct se află în poziția plus (minus), capătul tijei sale este conectat la capătul său plus (minus), astfel traficul poate rula de la capătul tijei sale până la capătul său plus (minus) și invers. Nu este posibil ca traficul să ruleze de la capătul plus la capătul minus și invers.

Secțiunile și punctele liniare sunt denumite în mod colectiv secțiuni (detectarea trenurilor), deoarece sunt prevăzute cu echipamente de detectare a trenurilor utilizate de sistemul de blocare pentru a detecta prezența trenurilor pe secțiuni. De reținut este faptul că secțiunile sunt bidirecționale în mod implicit, adică trenurile au voie să circule în ambele direcții (nu în același timp) într-o secțiune dată. De exemplu, trenurile pot parcurge o secțiune liniară de la capătul său ascendent până la capătul său descendent și de la capătul inferior până la capătul său sus.

Nu se face distincția între mașinile punctuale - mașinile mecanice / electrice care conduc mișcările de comutare între pozițiile unui punct - și secțiunile lor de detectare asociate. În practică, punctele sunt de obicei menționate prin identificatorul mașinilor lor de puncte. Acești identificatori sunt diferiți de numele secțiunilor de detectare asociate. Cu toate acestea, pentru simplitate, ne referim la punctele prin numele secțiunilor de detectare pe care se află.

(c) De-a lungul fiecărei secțiuni liniare, pot fi instalate până la două plăci de marcare (una pentru fiecare direcție). O placă de marcare poate fi văzută doar într-o singură direcție și este utilizată ca locație de referință (de exemplu, pentru începutul și sfârșitul rutelor) pentru trenurile care merg în acea direcție. De exemplu, în figura 2, placa de marcare $mb13$ este instalată de-a lungul secțiunii $t12$ pentru direcția de deplasare în sus.

După cum s-a menționat anterior, spre deosebire de sistemele vechi, nu există semnale fizice în ETCS nivel 2, dar sistemele de interblocare au un semnal virtual asociat cu fiecare placă de marcare. Semnalele virtuale joacă un rol similar cu semnalele fizice din sistemele vechi: un semnal virtual poate fi *deschis* sau, respectiv, *închis*, permițând sau interzicând traficului să treacă placa de marcare asociată. Cu toate acestea, trenurile (mai precis mecanicii de locomotivă) nu văd semnalele virtuale, spre deosebire de semnalele fizice. În schimb, aspectul semnalelor virtuale (*deschis* sau *închis*) sunt comunicate de la RBC la computerul de la bord din tren printr-o rețea radio. Pentru simplitate, termenii semnalelor virtuale, semnalele și plăcile de marcare sunt folosite în mod interschimbabil.

Un sistem de interblocare monitorizează constant starea elementelor de cale și le setează în stări adecvate pentru a permite trenurilor care circulă în siguranță prin rețeaua feroviară astfel controlată. Sistemul de interblocare acordă unui tren permisiunea de a circula pe o fracțiune din aspectul rețelei, numit traseu, la un moment dat.

O secțiune este o cale de la un semnal sursă la un semnal de destinație (diferit de semnalul sursă) din rețeaua feroviară dată. O secțiune este numită secțiune elementară dacă nu există semnale care sunt situate între semnalul sursă și semnalul de destinație și care sunt destinate aceleiași direcții ca traseul. O secțiune compusă este o secțiune creată prin concatenarea mai multor secțiuni elementare, astfel încât permisiunile de a circula pe aceste secțiuni elementare pot fi acordate unui tren simultan.

În terminologia de semnalizare feroviară, setarea unei secțiuni denotă procesul de alocare a resurselor - adică secțiuni, puncte, semnale - pentru traseu și apoi blocarea acestuia exclusiv pentru un singur tren atunci când resursele sunt alocate. Pe de altă parte, eliberarea unei secțiuni denotă procesul de eliberare a resurselor care au fost alocate pentru o secțiune după ce au fost utilizate de un tren.

Un tabel de interblocare specifică rutele elementare din rețeaua feroviară dată și condițiile pentru stabilirea acestor secțiuni. Specificația unei secțiuni r și condițiile pentru setarea r includ următoarele informații: $id(r)$ - identificatorul unic al rutei; $src(r)$ - semnalul sursă al lui r ; $dst(r)$ - semnalul de destinație r ; $cale(r)$ - lista secțiunilor care constituie calea lui r de la $src(r)$ la $dst(r)$; $suprapunere(r)$ - o listă a secțiunilor din suprapunerea lui r , adică spațiul tampon după $dst(r)$ care ar fi folosit în cazul în care trenurile depășesc calea traseului; $puncte(r)$ - o hartă de la punctele utilizate de r la pozițiile lor solicitate; $semnale(r)$ - un set de semnale de protecție utilizate pentru protecția flancului sau a frontului [13] pentru traseu, adică împiedicarea altor traficuri să intervină cu traficul din traseu și conflicte (r) - un set de secțiuni conflictuale care nu trebuie setate în timp ce r este setat.

Tabelul 1 prezintă un exemplu de tabel de interblocare pentru rețeaua prezentată în figura 2. Fiecare rând al tabelului corespunde unei specificații de traseu. Numele coloanelor sunt identice cu informațiile din specificațiile rutei pe care le conțin aceste coloane. De exemplu, primul rând din tabelul 1 specifică o secțiune cu $id\ 1a$. Traseul merge de la semnalul sursă $mb10$ la semnalul de destinație $mb13$ prin trei secțiuni $t10$, $t11$ și $t12$ pe traseul său și nu are suprapunere. Este necesar ca punctul $t11$ (pe calea sa) să fie în poziția *plus*, iar punctul $t13$ (în afara căii sale) să fie în poziția *minus* (ca punct de protecție). Secțiunea are $mb11$, $mb12$ și $mb20$ ca semnale de protecție și este în conflict cu secțiunile $1b$, $2a$, $2b$, 3 , 4 , $5a$, $5b$, $6b$ și 7 .

5.2. Principii de interblocare

Pentru a preveni situațiile periculoase, de exemplu, coliziunea și deraierea trenurilor [22], sistemele de interblocare utilizează un principiu clasic - o secțiune este blocată exclusiv pentru utilizarea unui tren. Acest lucru se obține urmând o procedură strictă pentru setarea și eliberarea secțiunilor pe baza informațiilor din tabelele lor de interblocare. De exemplu, să luăm în considerare următoarea procedură pentru secțiunea $1a$ specificată în tabelul 1:

- (0) inițial secțiunea este liberă;
- (1) traseul este expedit fie manual de către un operator, fie automat de un sistem de gestionare a traficului. Ca rezultat, secțiunea este marcată conform cererii;
- (2) sistemul de interblocare verifică starea diferitelor elemente de cale din sistem pentru a afla dacă poate începe să aloce resurse pentru secțiunea $1a$, de exemplu, secțiunile $t10$, $t11$ și $t12$ trebuie să fie libere, iar traseele conflictuale nu trebuie să fie alocate sau

**MONITORIZAREA TRAFICULUI FERROVIAR
PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2**

blocate. Dacă *da*, interblocarea comandă semnalele de protecție ale secțiunii - adică, *mb11*, *mb12* și *mb20* - pentru a trece la *închis* și comandă punctelor pentru a comuta la pozițiile lor necesare în conformitate cu specificațiile secțiunii - adică, comandă *t11* pentru a comuta la *plus* și *t13* pentru a comuta la *minus*;

(3) sistemul de interblocare monitorizează constant starea elementelor de cale; Când semnalele și punctele și-au schimbat starea așa cum a fost comandat în pasul (2), secțiunea este blocată și semnalul sursă *mb10* este comandat să se schimbe în *deschis*, permițând unui tren să intre pe traseu;

(4) când traseul blocat este ocupat - adică un tren intră în el, semnalul sursă *mb10* este setat pe *închis* împiedicând intrarea altor trenuri;

(5) întregul traseu este eliberat (readus pe liber) când trenul a terminat de utilizat - adică trenul a trecut de *mb13* sau trenul s-a oprit în fața *mb13*;

(6) o secțiune poate fi anulată când se află la pasul (1), (2) sau (3) dacă secțiunea nu a fost ocupată de un tren. Blocarea va elibera resursele alocate pentru traseu și va seta secțiunea înapoi la liber.

Tabelul 1. Interblocare pentru aspectul rețelei din figura 2. (p = *plus*, m = *minus*)

id	src	dst	cale	puncte	semnale	conflicte
1a	mb10	mb13	t(10;11;12)	t11:p;t13:m	mb(11;12;20)	1b;2a;2b;3;4;5a;5b;6b;7
1b	mb10	mb13	t(10;11;12)	t11:p	mb(11;12;15;20;21)	1a;2a;2b;3;5a;5b;6a;6b;7;8
2a	mb10	mb21	t(10;11;20)	t11:m;t13:p	mb(11;12;20)	1a;1b;2b;3;5b;6a;6b;7;8
2b	mb10	mb21	t(10;11;20)	t11:m	mb(11;12;13;15;20)	1a;1b;2a;3;4;5a;5b;6a;6b;7
3	mb12	mb11	t(11;10)	t11:m;t13:p	mb(10;20)	1a;1b;2a;2b;5a;6b;7
4	mb13	mb14	t(13;14)	t13:p	mb(15;21)	1a;2b;5a;5b;6a;6b;8
5a	mb15	mb12	t(13;14;12)	t11:m;t13:p	mb(13;14;21)	1a;1b;2b;3;4;5b;6a;6b;8
5b	mb15	mb12	t(13;14;12)	t13:p	mb(10;13;14;20;21)	1a;1b;2a;2b;4;5a;6a;6b;7;8
6a	mb15	mb20	t(13;14;20)	t11:p;t13:m	mb(13;14;21)	1b;2a;2b;4;5a;5b;6b;7;8
6b	mb15	mb20	t(13;14;20)	t13:m	mb(10;12;13;14;21)	1a;1b;2a;2b;3;4;5a;5b;6a;8
7	mb20	mb11	t(11;10)	t11:m	mb(10;12)	1a;1b;2a;2b;3;5b;6a
8	mb21	mb14	t(13;14)	t13:m	mb(13;15)	1b;2a;4;5a;5b;6a;6b

5.3. Eliberare secvențială

Noile sisteme de blocare utilizează eliberarea secvențială (cunoscută și sub numele de eliberare secțională) [13]. Această caracteristică are ca rezultat două modificări majore ale procedurii explicate anterior:

(a) cu eliberare secvențială, blocarea poate elibera un element într-un traseu blocat imediat ce trenul a trecut de el, în loc să aștepte până când trenul a terminat de utilizat secțiunea și apoi eliberează secțiunea în ansamblu. În consecință, capacitatea crește;

(b) ca rezultat direct al literei (a), o secțiune poate fi alocată - în etapa (2) a procedurii din 5.2 - în timp ce unele dintre secțiunile sale conflictuale sunt încă utilizate de trenuri, în loc să aștepte toate ca secțiunile sale conflictuale să fie eliberate în conformitate cu procedura specificată.

Avantajul eliberării secvențiale este mai bine ilustrat de o extensie a exemplului prezentat în figura 2, unde mai multe secțiuni liniare se află între secțiunile *t11* și *t12* pe ruta *1a* din tabelul 1. Pentru un astfel de exemplu extins, de îndată ce un tren *T1* a părăsit *t11* în timp ce merge pe secțiunea *1a*, *t11* poate fi eliberat. În consecință, secțiunea 7 (în tabelul 1) poate fi deja alocată de un alt tren *T2* (presupunând că sunt îndeplinite alte condiții de

alocare), în timp ce $1a$ este încă utilizată de $T1$. Dacă eliberarea secvențială nu ar fi fost utilizată, secțiunea 7 ar fi putut fi alocată mai întâi, atunci când ruta $1a$ a fost eliberată (adică, atunci când $T1$ a depășit $mb13$ sau a ajuns la o oprire în $t12$ în fața $mb13$).

Termenul eliberare secvențială poate fi utilizat diferit la diferite niveluri operaționale:

(1) La un nivel operațional ridicat, eliberarea secvențială se realizează pe căile compuse: fiecare cale elementară unică a unei căi compuse date este eliberată secvențial. În acest sens, eliberarea secvențială este o caracteristică pe traseu.

(2) Pe de altă parte, la un nivel operațional scăzut, eliberarea secvențială se efectuează pe traseele elementare: fiecare element unic al unei rute elementare este eliberat secvențial [12]. În acest caz, eliberarea secvențială este o caracteristică elementară. În utilizarea anterioară a termenului, eliberarea secvențială este utilizată doar în scopuri operaționale, astfel încât o parte a unei rute compuse lungi să poată fi eliberată mai devreme.

Deși secțiunile elementare sunt eliberate una câte una, eliberarea fiecărei secțiuni elementare trebuie să-i urmeze procedura de eliberare pentru o secțiune elementară. Prin urmare, dacă procedurile pentru eliberarea secțiunilor elementare sunt corecte, atunci eliberarea secvențială, în sensul său anterior, nu are nici o influență asupra siguranței sistemului. Pe de altă parte, în ultima utilizare a termenului, eliberarea secvențială este mai ritmică și are ca rezultat schimbări semnificative în procedurile de setare și eliberare a secțiunilor, în consecință siguranța sistemelor luate în considerare. Astfel, pune provocări suplimentare în demonstrarea proprietăților de siguranță ale sistemelor. Mai mult, acesta din urmă oferă un câștig mai bun al randamentului trenului (care este scopul principal al eliberării secvențiale) decât primul, iar dacă eliberarea secvențială se face corect la un nivel operațional scăzut, nu este necesar la nivelul operațional ridicat. Secțiunile compuse devin doar comenzi rapide operaționale. Considerăm eliberarea secvențială în ultima sa utilizare a termenului. Pentru a include această caracteristică în modelele sistemelor de interblocare, sunt necesare variabile și tranziții suplimentare. Prin urmare, modelele devin mai complexe cu un nivel mai ridicat de concurență. În consecință, sarcinile de verificare sunt mai provocatoare.

CONCLUZII

Sistemul european de control al trenurilor (ETCS) este componenta de semnalizare și control a sistemului european de gestionare a traficului feroviar (ERTMS). Este un înlocuitor pentru sistemele vechi de protecție a trenurilor și conceput pentru a înlocui numeroasele sisteme de siguranță incompatibile utilizate în prezent de căile ferate europene. Standardul a fost adoptat și în afara Europei și este o opțiune pentru aplicații la nivel mondial. Din punct de vedere tehnic, este un fel de control pozitiv al trenului (PTC).

ETCS este implementat cu echipamente standard de cale și echipamente de control unificate în cabina de conducere a locomotivei / automotorului. În forma sa avansată, toate informațiile de pe cale sunt transmise mecanicului pe calea undelor în cabină, eliminând necesitatea semnalelor de pe linie urmărite de mecanic. Acest lucru va oferi fundamentul pentru o operațiune automată a trenului. Echipamentul de cale urmărește să facă schimb de informații cu vehiculul pentru a supraveghea în siguranță circulația trenului. Informațiile schimbate între cale și trenuri pot fi fie continue, fie intermitente în funcție de nivelul de aplicare ERTMS / ETCS și de natura informațiilor în sine.

ERTMS nivel 2 este un sistem digital bazat pe radio. Autoritatea de mișcare și alte aspecte ale semnalului sunt afișate în cabină pentru mecanicul de locomotivă. În afară de câteva panouri indicatoare, este deci posibil să se renunțe la semnalizarea pe cale. Cu toate

MONITORIZAREA TRAFICULUI FEROVIIAR PRIN SISTEMUL ETCS - NIVEL 2

acestea, detectarea trenului și supravegherea integrității trenului rămân în continuare la fața locului. Mișcările trenului sunt monitorizate continuu de centrul blocului radio folosind aceste informații derivate din cale. Autoritatea de circulație este transmisă vehiculului în mod continuu prin GSM-R sau GPRS împreună cu informații despre viteză și date despre traseu. Eurobalizele sunt utilizate la acest nivel ca puncte de poziționare pasivă sau „reper electronice”. Între două balize de poziționare, trenul își determină poziția prin intermediul senzorilor (traductoare de osie, accelerometru și radar). Balizele de poziționare sunt utilizate în acest caz ca puncte de referință pentru corectarea erorilor de măsurare a distanței. Computerul de bord monitorizează continuu datele transferate și viteza maximă admisibilă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Guvernul României – Ministerul transporturilor**, „Planul de dezvoltare și implementare a sistemului ERTMS în România”, 2007, pag. 1-24.
- [2] **ERTMS**, „Annex A for ETCS Baseline 3 and GSM-R Baseline 0. European Railway Agency”, April 2014.
- [3] **Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2017/6**, „Planul de implementare la nivel european a Sistemului european de management al traficului feroviar”, din 5 ianuarie 2017.
- [4] **European Council**, „Council Directive 96/48/EC of 23 July 1996 on the interoperability of the trans-European high-speed rail system”, in: Official Journal of the European Communities L.235, 1996, pages 6–24.
- [5] **European Commission**. „Commission Decision 2001/260/EC of 21 March 2001 on the basic parameters of the command-control and signalling sub- system of the trans-European high-speed rail system referred to as ‘ERTMS characteristics’ in Annex II(3) to Directive 96/48/EC”, in: Official Journal of the European Union L.93, 2001, pages 53–56.
- [6] **The European Rail Traffic Management System**, „ERTMS Deployment Outside Europe – ERTMS as a Global Standard”, 2015.
- [7] **Aleksander Sniady**, „Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations”, PhD thesis. 2015.
- [8] **Gregor Theeg, SergeiValentinovich Vlasenko, and Enrico Anders**, „Railway Signalling & Interlocking: International Compendium”, Eurailpress, 2009.
- [9] **ERTMS**, „Annex A for ETCS Baseline 3 and GSM-R Baseline 0”, European Railway Agency, April 2014.
- [10] **A. Neacsu, N.N. Antonescu, D.B. Stoica**, „Studies on the use of implemented databases on web platforms in order to verify machines compatibility with working conditions”, Journal of the Balkan Tribological Association 18 (4), 2014.
- [11] **Cécile Braunstein et al**, „Complete Model-Based Equivalence Class Testing for the ETCS Ceiling Speed Monitor”, in: Formal Methods and Software Engineering - 16th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2014, Luxembourg, Luxembourg, November 3-5, 2014, Proceedings. Edited by Stephan Merz and Jun Pang, volume 8829. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014, pages 380–395.
- [12] **E.N. Cenelec**, „50128 - Railway Applications-Communication, Signalling and Processing Systems-Software for Railway Control and Protection Systems”, in: Book EN 50128 Railway Application-Communications, signalling and processing systems-Software for railway control and protection systems, 2012.
- [13] **G. Theeg, S.V. Vlasenko, E. Anders**, „Railway Signalling & Interlocking: International Compendium. Eurailpress”, 2009.
- [14] **A.E. Haxthausen, J. Peleska, R. Pinger**, „Applied Bounded Model Checking for Interlocking System Designs”, in: Software Engineering and Formal Methods”, Edited by Steve Counsell and Manuel Núñez, volume 8368, Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014, pages 205–220.

- [15] **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, „*IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*”, in: IEEE Std 1474.1-2004 (Revision of IEEE Std 1474.1-1999), 2004, pages 1–45.
- [16] **R.D. Pascoe, T.N. Eichorn**, „*What is communication-based train control?*”, in: Vehicular Technology Magazine, IEEE 4.4 (December 2009), pages 16–21.
- [17] **Michele Banci, Alessandro Fantechi**, „*Geographical Versus Functional Modelling by Statecharts of Interlocking Systems*”, in: Electr. Notes Theor. Comput. Sci. 133 (2005), pages 3–19.
- [18] **Alessandro Fantechi**, „*Distributing the Challenge of Model Checking Interlocking Control Tables*”, in: Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation. Applications and Case Studies. Edited by Tiziana Margaria and Bernhard Steffen, volume 7610, Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2012, pages 276–289.
- [19] **A.E. Haxthausen, J. Peleska**, „*Formal Development and Verification of a Distributed Railway Control Systems*”, in: IEEE Transactions on Software Engineering, volume 26. 8. IEEE, 2000, pages 687–701.
- [20] **A.E. Haxthausen, J. Peleska, R. Pinger**, „*Applied Bounded Model Checking for Interlocking System Designs*”, in: Software Engineering and Formal Methods. Edited by Steve Counsell and Manuel Núñez, volume 8368, lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014, pages 205–220.
- [21] **A. Neacsu, N.N. Antonescu, D.B. Stoica**, „*Modern Solutions for Selecting the Corresponding Machinery Dedicated to Technological Applications*”, Journal of the Balkan Tribological Association 15 (4), 2014, pages 474-479.
- [22] **G. Popa, I. Sebeşan, M. A. Spiroiu, C. N. Badea**, „*Safety Against Derailment for Railway Vehicles*”, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 659 (2014) pp. 223-230 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland.