

STANDARDE DE PERFORMANȚĂ ȘI FUNCȚIONARE PENTRU SISTEMELE CBTC

PERFORMANCE AND OPERATING STANDARDS FOR CBTC SYSTEMS

Alexandru BADEA¹, Gabriel POPA², George DUMITRU³

¹Universitatea Politehnică București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România
e-mail: Alexandru BADEA: alexsinaia@yahoo.com

²Universitatea Politehnică București, Splaiul Independenței nr. 313, București, România
e-mail: Gabriel POPA: gabi21popa@yahoo.com;

³Autoritatea Feroviară Română - Calea Griviței nr. 393, sectorul 1, București, România
e-mail: George DUMITRU: george.dumitru.cfr@gmail.com

Rezumat: Automatizarea în sistemele de transport feroviar este în continuă creștere. Înlocuirea treptată a controlului factorului uman necesită aceste sisteme pentru a garanta un nivel sporit de siguranță și fiabilitate. Însă, automatizarea sporită implică o complexitate sporită. O astfel de complexitate necesită analizarea diferitelor aspecte ale sistemului la nivelul adecvat de abstractizare. Metodele de modelare semi-formale și formale pot oferi un sprijin crucial pentru îndeplinirea cerințelor de siguranță și fiabilitate și asigurarea menținerii unui grad adecvat de abstractizare în timpul analizei. Mai mult, tehnologia de inginerie a liniei de produse oferă un instrument adecvat pentru a integra modelarea formală cu modularitatea sistemului. Sistemele de control al trenurilor bazate pe comunicații (CBTC) sunt o nouă frontieră a controlului și operării automate a trenurilor. Platformele CBTC actuale sunt de fapt sisteme foarte complexe, care includ mai multe funcționalități, iar fiecare sistem instalat, variază în ceea ce privește întinderea, sfera, numărul și chiar numele funcționalităților implementate. Au apărut standardele internaționale, dar ele rămân la un nivel destul de abstract, stabilind în cea mai mare parte terminologia..

Cuvinte cheie: sistem, siguranță, fiabilitate, standard, tren, terminologie.

Abstract: Automation in rail transport systems is constantly growing. The gradual replacement of human factor control requires these systems to ensure a higher level of safety and reliability. However, increased automation involves increased complexity. Such complexity requires analyzing different aspects of the system at the appropriate level of abstraction. Semi-formal and formal modeling methods can provide crucial support for meeting safety and reliability requirements and ensuring that an adequate degree of abstraction is maintained during analysis. Moreover, product line engineering technology provides a suitable tool to integrate formal modeling with system modularity. Communication-based train control systems (CBTC) are a new frontier of automatic train control and operation. Current CBTC platforms are in fact very complex systems, which include several functionalities, and each installed system varies in terms of scope, scope, number and even the name of the functionalities implemented. International standards have emerged, but they remain at a fairly abstract level, for the most part establishing the terminology.

Keywords: system, safety, reliability, standard, train, terminology.

1. INTRODUCERE

Standardul IEEE 1474.1 [1, 2] definește cerințele de performanță și funcționare pentru CBTC. Un standard suplimentar 1474.3 [3], publicat în 2008, definește practica recomandată pentru proiectarea sistemului CBTC și alocările funcționale.

Cu toate acestea, spre deosebire de standardul Uniunii Europene pentru operațiunile feroviare principale, ERTMS, standardul IEEE CBTC servește drept simple orientări și nu este respectat strict de furnizori. Drept urmare, aproape toate instalațiile CBTC existente sunt sisteme brevetate incompatibile [4]. Spre exemplu, din toate materialele publicitare ale furnizorului CBTC analizate pentru acest studiu [5-11], numai Ansaldo STS [12] susține că este conform cu standardul.

În plus, Comisia Electrotehnică Internațională (IEC) și omologul său din Europa, Comitetul European pentru Standardizare Electrotehnică (CENELEC), sunt responsabile pentru dezvoltarea standardelor pentru industria feroviară [13]. Aceste standarde se adresează atât cerințelor generale, legate de siguranță, cât și cerințelor legate de software [14-15].

În tabelul 1 sunt ilustrate standardele relevante, cu standarde echivalente [16-17].

Tabelul 1. Standardele relevante și standarde echivalente

Descriere		IEC	CENELEC
Gestionarea transportului urban și sisteme de comandă / control	Principiile sistemului și conceptele fundamentale	62290-1	
	Specificația cerințelor funcționale	62290-2	
	Specificațiile cerințelor de sistem	62290-3	
Sisteme de comunicare, semnalizare și procesare - Siguranță - comunicarea aferentă în sistemele de transmisie			50129
			50159
Specificații și demonstrații de fiabilitate, disponibilitate, mentenabilitate și siguranță (RAMS)		62278	50126
Sisteme de comunicații, semnalizare și procesare - Software pentru sisteme de control și protecție feroviară		62279	50128

În SUA, Asociația Americană de Inginerie și Întreținere a Căilor Ferate (AREMA) este responsabilă pentru elaborarea unui manual pentru practicile recomandate în căile ferate. Secțiunile 21-23 din acest manual abordează semnalizarea bazată pe comunicare [18].

Proiectul de cercetare al Uniunii Europene MODURBAN [19] are obiective similare în dezvoltarea arhitecturii de bază a sistemului și a interfețelor cheie pentru sistemele feroviare ghidate urbane.

2. STANDARDE IEEE CBTC

Intrarea pe piața CBTC cu un produs nou necesită ca un astfel de produs să fie conform cu standardele existente. Două standarde internaționale oferă cerințe generale pentru sistemele CBTC. Primul este IEEE 1474.1-2004 [20], în timp ce al doilea este IEC 62290 [21, 22]. Standardele diferă prin terminologie și structură. Prin urmare, un produs care satisface primul nu este asigurat pentru a îndeplini și cerințele acestuia din urmă.

Un produs CBTC nou trebuie să ia în considerare și produsele și instalațiile similare existente pentru a fi competitiv. Piața CBTC este guvernată în prezent de șase furnizori principali, și anume Bombardier [23], Alstom [24], Thales [25], Invensys Rail Group [26], Ansaldo STS [27] și Siemens [28]. Fiecare furnizor oferă propria sa soluție și sunt folosite diferite tehnologii și arhitecturi.

IEEE 1474.1-2004 a fost definit de către Grupul de lucru pentru controlul trenurilor, comunicat de IEEE (Institutul inginerilor electrici și electronici), aprobat în 2004. Un astfel de standard se referă la cerințele funcționale și de performanță pe care le va implementa un sistem CBTC.

Aceste cerințe se referă la funcțiile de protecție automată a trenurilor (ATP), funcționare automată a trenurilor (ATO) și supraveghere automată a trenurilor (ATS),

STANDARDE DE PERFORMANȚĂ ȘI FUNCȚIONARE PENTRU SISTEMELE CBTC

implementate de sistemul CBTC de la marginea căii și la bord. Funcțiile ATO și ATS sunt considerate opționale de standard. În plus față de aceste cerințe, standardul stabilește și criteriile de avans, criteriile de siguranță a sistemului și criteriile de disponibilitate a sistemului aplicabile diferitelor aplicații de tranzit, inclusiv Automated People Movers (APM) [29-32,42].

Funcționalitățile Standardelor au fost evaluate pentru a obține un set complet de funcționalități CBTC. Abordarea adoptată este următoarea. În primul rând, au fost extrase funcționalitățile specificate de standardul IEEE 1474.1-2004. Astfel de funcționalități au fost împărțite între ATP, ATO și ATS în conformitate cu clasificarea anticipată furnizată de același standard. Pornind de la acest prim grup de funcționalități, activitatea a continuat cu analiza standardului IEC 62290, pentru identificarea posibilelor funcționalități suplimentare în comparație cu cele deja extrase. Fiecare funcționalitate este trasată la paragraful standardului corespunzător din care a fost inițial derivat. Funcționalitățile sunt raportate mai jos, împreună cu subsistemul aferent și referința la documentele standard:

- determinarea locației trenului. (ATP la bord - IEEE 6.1.1) Această funcționalitate determină poziția trenului;

- separarea sigură a trenului. (ATP la bord - IEEE 6.1.2) Această funcționalitate folosește informațiile de localizare a trenului pentru a calcula curba de frânare și pentru a asigura separarea sigură a trenurilor;

- determinarea autorității de mișcare. (Modul ATP - IEC 5.1.4.1) Această funcționalitate calculează mesajul MA care trebuie trimis trenului în funcție de poziția celorlalte trenuri și de starea căii ferate;

- controler de interblocare a rutei. (Way ATP - IEEE 6.1.11) Această funcționalitate controlează un IXL extern și efectuează cererile și blocările rutei. Sistemele IXL se bazează în mod normal pe principii de bloc fix. Această funcție este capabilă să ocolească intrările de blocare referitoare la poziția trenurilor care vin din circuitele de cale. În acest fel, funcționalitatea este, de asemenea, capabilă să asigure performanța crescută garantată de principiile blocului mobil;

- interblocarea este un sistem auxiliar de cale extern de ATP. Prin urmare, cerința derivată (D) pentru produsul nostru este: 6.1.11 (D) - blocarea traseului. Funcțiile de blocare trebuie asigurate de echipamente de blocare separate;

- cerințe suplimentare privind comportamentul real pot fi derivate din arhitectură și scenariul de exemplu, ca în următoarele: 6.1.11 (D - 1) - controler de interblocare a rutei. Când este solicitată o rută de la ATS, sistemul ATP va necesita setarea rutei către interblocare pentru a bloca resursele de interblocare;

- identificarea și urmărirea trenului. (ATS - IEEE 6.3.3). Această funcționalitate monitorizează poziția și identitatea trenurilor;

- rutare trenului. (ATS - IEEE 6.3.4). Această funcționalitate permite setarea traseului pentru tren în conformitate cu datele serviciului de tren, reguli de rutare predefinite și posibile restricții la mișcarea trenului;

IEC 62290 IEC 62290 este un standard elaborat de IEC (International Electrotechnical Commission) intrat în vigoare în 2007. Acest standard aduce conceptele fundamentale, cerințele generale și o descriere a cerințelor funcționale pe care sistemele de comandă și control din domeniul transportului urban ghidat, precum CBTC. Referitor la conceptele fundamentale, standardul stabilește patru niveluri sau grade de automatizare (GoA – de la 1 la 4), astfel:

1. GoA 1: Operare manuală cu protecție automată a trenului (cum ar fi PTC):

- ATP protejează trenul de pericolele specificate, de obicei prin aplicarea frânelor pentru oprirea trenului;
 - ATP poate oferi protecții asociate oricărei combinații de (IEEE 1474.1);
 - blocarea traseului, distanța trenului, sfârșitul liniei, deplasarea în direcția autorizată;
 - integritatea trenului, viteza excesivă, funcționarea ușilor și deplasarea în vecinătatea echipajelor de lucru pe șină;
 - operatorul trenului este responsabil să comande accelerarea, decelerarea și deschiderea / închiderea ușilor trenului și să monitorizeze condițiile de cale din fața trenului.
2. GoA 2: Operarea trenului în mod semi-automat (STO):
- sistemul oferă ATP complet și ATO, cu un operator de tren aflat la cabina de comandă;
 - mecanicul de locomotivă și automotor al trenului monitorizează condițiile de pe cale din fața trenului și acționează de obicei închiderea ușilor și plecarea trenului.
3. GoA 3: Operarea trenului fără mecanic de locomotivă și automotor (DTO):
- sistemul oferă ATO și ATP complet;
 - însoțitorul (șeful de tren) se află la bordul trenului pentru a sprijini operațiunile de îmbarcare / debarcare și pentru a asista călătorii, după cum este necesar;
 - întrucât însoțitorul este liber să se deplaseze în jurul trenului, prezența acestuia nu este indispensabilă în cabina de control pentru a detecta prezența pericolelor în fața trenului;
 - aceste pericole trebuie fie să fie reduse suficient de mult astfel încât vigilența mecanicului la cabina de control să nu fie obstructivă sau acestea să fie detectate de sisteme suplimentare.
4. GoA 4: Operarea de tren nesupravegheat (UTO):
- nici un mecanic de locomotivă sau însoțitor nu este necesar la bordul trenului pentru funcționarea normală;
 - materialul rulant nu necesită o cabină de control, în sine: un panou de comandă este considerat suficient pentru mișcări manuale;
 - fiabilitatea sistemului trebuie să fie suficient de mare pentru a exclude necesitatea intervenției operatorului de tren, cu excepția cazurilor de probabilitate extrem de reduse;
 - mișcări manuale limitate de obicei la întreținere și depozitare sau pentru remedierea defecțiunilor;
 - poate fi aplicat în funcție de domeniu (de exemplu, sistem complet, doar linia principală, numai zone de bază, numai locații de inversare).

Creșterea GoA corespunde creșterii responsabilității sistemului de comandă și control a stației operaționale. De exemplu, un sistem GoA-1 acționează pur și simplu sistemul de frânare atunci când mecanicul de tren depășește viteza de circulație a trenului pe porțiunea de linie respectivă.

Se ia în considerare acum un furnizor care dorește să îndeplinească și standardul IEC 62290 cu produsul său. Produsul este deja definit conform IEEE 1474.1-2004 urmând abordarea prezentată. În acest caz, putem susține că poate fi demonstrată prin raționamente la nivel funcțional conformitatea cu standardul IEC 62290. Într-adevăr, funcțiile identificate în faza de analiză a domeniului integrează conținutul ambelor standarde, iar trasabilitatea cu cerințele funcționale originale ale IEC 62290 este astfel ușurată.

3. IDENTIFICAREA ARHITECTURII

Sunt identificate diferite arhitecturi posibile pentru un sistem CBTC prin evaluarea informațiilor disponibile despre produsele CBTC de pe piață. Implementările sistemelor

STANDARDE DE PERFORMANȚĂ ȘI FUNCȚIONARE PENTRU SISTEMELE CBTC

CBTC sunt oferite de diferiți furnizori.

În continuare ne vom concentra pe sistemele propuse de Bombardier, Alstom, Thales, Invensys Rail Group, Ansaldo STS și Siemens. CBTC ale acestor producători sunt toate alcătuite din subsisteme care includ un echipament de marginea căii și un echipament de bord cu o comunicație bidirecțională a tren-cale furnizată de un subsistem de comunicații radio.

Principalele subsisteme identificate în sistemele CBTC evaluate sunt ATP, ATS, ATO și IXL. Există și alte subsisteme suplimentare, care includ, de exemplu, sistemul de urgență, sistemul de informare a pasagerilor și televiziunea cu circuit închis. Arhitecturile sistemului sunt identificate prin analiza relațiilor dintre toate aceste subsisteme.

Sistemul CBTC propus de Bombardier se numește CITYFLO. Versiunea mai avansată a sistemului este CITYFLO 650 [23], care introduce suport pentru Driverless (DTO) și Unattended Train Operations (UTO). Ca toate sistemele CBTC, arhitectura este compusă din echipamente de pe marginea căii și echipamente de bord. În special, echipamentele de pe marginea căii ale sistemului sunt distribuite de-a lungul liniei și sunt împărțite în zone. În acest caz, fiecare regiune este responsabilă pentru circulația în siguranță a trenurilor în limitele sale de control și livrarea în siguranță a trenurilor în zona adiacentă. Pentru determinarea poziției trenului, CITYFLO utilizează un model al șinei bazat pe entități numite segmente CITYFLO. Un segment este o secțiune a piesei identificată prin numărul zonei și numărul segmentului. Poziția trenului este identificată ca un set într-un segment aparținând unei zone.

Comunicația este asigurată de un subsistem de radiofrecvență (RF) care utilizează o tehnică de modulație CDMA (Acces Multiplu cu Diviziune a Codului Spread Spectrum) la 2,4 GHz. Această comunicare RF folosește fie un cablu coaxial cu scurgeri, fie o rețea de antene Line of Sight (LOS) de-a lungul căii, care transmite date către trenuri prin antenele lor mobile de la bord.

În caz de defecțiuni, CITYFLO presupune utilizarea unui sistem secundar de rezervă, bazat pe circuitul de cale, semnale de marginea căii și un sistem IXL. Din punct de vedere al performanței, sistemul CBTC furnizat de Bombardier este capabil să atingă un avans teoretic mai mic de 75 de secunde, deși progresul comercial realizat în implementarea metroului din Madrid [33] este în jur de 101-111 sec.

URBALIS [24] este soluția CBTC supremă pentru Alstom, care acceptă atât UTO, cât și DTO. Atât echipamentele de margine, cât și echipamentele de bord sunt rețele integrate, bazate, respectiv, pe rețeaua Multi Service SDH (Synchronous Digital Hierarchy) și pe rețeaua Ethernet. În schimb, comunicarea între echipamentul de pe marginea căii și echipamentul de la bord are loc prin intermediul unei comunicații radio care se bazează pe IEEE 802.11 cu purtători OFDM la 2,4 GHz sau 5,8 GHz. Mijloacele de propagare care sunt suportate de URBALIS sunt Free Propagation, Leaky Feeder sau Wave Guide. Echipamentul de bord al subsistemului ATP este responsabil pentru determinarea poziției trenului, folosind informațiile citite de la balizele (EUROBALISE) dispuse de-a lungul șinelor. Măsurile cinematice ale vitezei și accelerației se efectuează întotdeauna la bordul trenului prin intermediul unor senzori odometrici instalați pe osiile trenului. Pentru trenurile neechipate și în caz de defecțiuni, URBALIS presupune utilizarea unor dispozitive secundare de detectare, cum ar fi circuitul de cale și semnalele LED. Din punct de vedere al performanței, sistemul CBTC furnizat de Alstom este capabil să atingă un avans teoretic mai mic de 85 de secunde, chiar dacă progresele comerciale obținute în implementările efective sunt în jur de 90 de secunde [34].

Sistemul CBTC al Thales se numește Seltrac [25], iar S40 este cea mai recentă

versiune. Această versiune oferă suport pentru UTO și DTO și este optimizată pentru a obține un avans de 60 de secunde. Seltrac oferă o arhitectură similară cu cea oferită de Bombardier, unde echipamentele de pe marginea căii sunt împărțite în zone [35]. Fiecare zonă este controlată de un controler de zonă care este responsabil pentru controlul și monitorizarea trenului de-a lungul șinei. Pe baza acestei arhitecturi, sistemul poate fi implementat fie folosind bucle inductive aranjate în segmente de linie (de obicei de 1,5 km lungime), fie folosind un subsistem de comunicații radio pe marginea trenului bazat pe IEEE 802.11 [36].

În prima implementare, poziția și viteza trenului sunt furnizate prin bucle dispuse de-a lungul liniei pentru calcule de referință la sol. Generatoarele de taho sunt folosite pentru calculul vitezei, direcției și distanței în colaborare cu accelerometrele. În cea de-a doua implementare, poziția trenului este determinată cu etichete transponder de cale. Din punct de vedere al performanței, Seltrac S40 este capabil să atingă un avans teoretic mai mic de 60 de secunde, totuși progresul comercial obținut în implementarea metroului din Dubai este de aproximativ 90 de secunde.

SIRIUS [26] este sistemul CBTC propus de Invensys Rail Group. Acest sistem folosește o logică de vot 2 din 3 pentru a identifica defecțiunile și a lua măsurile adecvate. Comunicarea continuă și bidirecțională între echipamentele de pe cale și echipamentele de bord este garantată printr-un subsistem radio care utilizează tehnici de modulare a spectrului și antene sau alimentator cu scurgeri.

Poziția trenului este determinată cu ajutorul balizelor pasive de referință de poziție absolută (APR) dispuse de-a lungul șinei și activate atunci când trenul trece peste ele. Cutia de viteze sau dispozitivele conduse de roțile trenului, în colaborare cu unitatea radar Doppler, sunt responsabile de măsurarea vitezei și distanței. Din punct de vedere al performanței, sistemul propus de Invensys Rail Group este capabil să atingă un avans teoretic mai mic de 80 de secunde.

Sistemul CBTC oferit de Ansaldo STS nu are nume propriu [27]. În acest sistem, comunicația bidirecțională de la tren la cale este asigurată de un subsistem de comunicații radio bazat pe IEEE 802.11. Poziția și viteza trenului se determină cu utilizarea balizelor dispuse de-a lungul șinelor și cu utilizarea senzorilor odometrici la bordul trenului. În special, poziția trenurilor neechipate se obține prin interblocare în funcție de ocuparea sau nu a circuitelor de cale. Acest sistem CBTC este capabil să atingă un avans teoretic mai mic de 60 de secunde [37], totuși, progresul comercial obținut în implementarea metroului din Copenhaga este de aproximativ 90 de secunde.

Sistemul CBTC dezvoltat de Siemens se numește Trainguard MT [28]. Siemens oferă trei niveluri de control, în funcție de dacă trenurile de-a lungul unei linii echipate CBTC sunt sau nu echipate. În acest fel, este posibil să se lase trenuri cu diferite grade de automatizare să coabiteze pe aceeași linie.

Comunicarea dintre echipamentul de cale și echipamentul de bord se bazează pe subsistemul Airlink [38], care asigură o transmisie radio bidirecțională pe banda ISM de 2,4 GHz. Determinarea poziției și vitezei trenului este calculată de echipamentul de la bord printr-un radar și un generator de impulsuri odometru. În plus, Trainguard MT implică utilizarea unui sistem de numărare a osiilor ACM ca sistem fiabil de detectare a porțiunilor libere de cale. Sistemul propus de Siemens este capabil să atingă un avans comercial destul de scăzut [39], precum cel obținut în implementarea metroului Barcellona-line 9 care este în jur de 80 de secunde.

4. CERINȚE FUNCȚIONALE ȘI DE PERFORMANȚĂ

Standardul IEEE definește un sistem CBTC ca un sistem continuu, automat de control al trenului cu următoarele caracteristici principale:

- determinarea locației trenului de înaltă rezoluție, independent de circuitele de cale;
- comunicații de date bidirecționale continue, de mare capacitate, tren-cale;
- echipamentele de tren și de cale, capabile să implementeze funcții ATP, precum și funcții opționale ATO și ATS.

Standardul prevede că, în caz de defecțiune a echipamentului sau a comunicării defectuoase a datelor, trenurile vor continua să se deplaseze în siguranță, în modul de avarie, cum ar fi cu viteză redusă, cu ajutorul unui sistem suplimentar de cale (adică pentru detectarea trenului).

În plus, standardul specifică un număr de parametri pentru a atinge un nivel ridicat de performanță, împreună cu valorile lor tipice. În tabelul 2 sunt enumerați câțiva dintre cei mai relevanți parametri.

Timpii de reacție ai echipamentului includ timpul necesar pentru calcularea noii limite de autoritate de circulație la marginea căii după primirea unei actualizări de locație de la tren și timpul de determinare a unui nou profil ATP pe tren după primirea unei noi limite de autoritate de circulație.

Standardul prevede că echipamentul CBTC va avea o durată de viață de proiectare de 30 de ani. În plus, un sistem CBTC va permite, printre altele, să asigure o întreținere ușoară cu următoarele caracteristici:

- capabilități de întreținere și diagnostic, inclusiv capacități de diagnosticare la distanță;
- capabilități de test încorporate;
- identificarea la timp a componentelor și funcțiilor avariate;
- înregistrarea datelor, permițând recreerea evenimentelor care duc la o eroare;
- verificarea periodică a hardware / software / date ATP.

Standardul specifică parametrii pentru dezvoltarea unui model de frânare sigur și oferă și un exemplu de model tipic. Modelul de frânare sigur trebuie să ia în considerare orice inexactitate a locației, cum ar fi cauza întreruperilor comunicării radio.

4. CERINȚE DE COMUNICARE RADIO

Standardul prevede că și calitatea legăturii de comunicații radio între tren și marginea căii trebuie verificată periodic. Sunt specificate anumite cerințe funcționale. Legătura de comunicare trebuie să îndeplinească următoarele cerințe esențiale:

- să accepte toate funcțiile ATP, ATO și ATS necesare;
- să ofere acoperire continuă, inclusiv în tuneluri, debleuri sau rambleuri ale căii și pante;
- să suporte transferul de date bidirecțional cu o latență suficient de redusă;
- să susțină livrarea sigură, la timp și în siguranță a mesajelor de control ale trenului.

În mod clar, există o mulțime de schimbări în tehnologia radio de date astăzi. „Radio software” de generația următoare le va permite personalității să se schimbe prin descărcarea unui nou cod. Și dincolo de acele „radiouri cognitive” care au capacitatea de a se adapta automat la un spectru wireless sau la un mediu de rețea pentru a îndeplini anumite sarcini.

Modul în care dispozitivele utilizatorului accesează resursele radio este definit în stratul Media Access Control (MAC) al tuturor protocoalelor 802.11 printr-o metodă de acces multiplu cunoscută sub numele de Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

(CSMA/CA) [40].

Conform CSMA/CA, atunci când un nod (fie un punct de acces, fie un dispozitiv utilizator) este gata să transmită un cadru de strat 2, mai întâi se oprește să „asculte” dacă canalul radio (secțiunea benzii de 2,4 GHz sau 5 GHz), plănuiește să transmită, este inactiv.

Dacă canalul este activ – adică dacă este detectat semnalul de la alt dispozitiv – nodul de ascultare în cauză așteaptă o perioadă de timp aleatorie înainte de a încerca să transmită din nou. Dacă canalul pare inactiv, nodul de ascultare va continua să transmită.

Când două sau mai multe noduri decid să transmită în același timp, are loc o coliziune, iar receptorul va primi doar zgomot aleatoriu, deoarece semnalele de transmisie simultană interferează între ele. Cadrul Layer 2 va fi apoi pierdut, iar o aplicație de strat superior va trebui să negocieze o retransmisie.

Opțional, atunci când plănuieți să trimiteți cadre mari de date simultan, protocoalele IEEE 802.11 utilizează mecanismul Solicitare de trimitere / Ștergere pentru trimitere (RTS/CTS) [41]. Cu RTS/CTS, primul cadru transmis de nod nu conține date utilizator, ci este doar o solicitare de a prelua canalul pentru o perioadă de timp pentru a transmite cadrul mare.

În ambele cazuri, totuși, factorul cheie este că toate dispozitivele care folosesc protocoalele IEEE 802.11 într-o anumită zonă vor folosi în mod egal CSMA/CA pentru a accesa resursele radio. Din punctul de vedere al IEEE 802.11, nu există nici o modalitate de a diferenția între cadrul de misiune critică de la un radio de tren CBTC, cadrul potențial de misiune critică de la dispozitivul de comunicații personal al mecanicului de tren și cadrul poate nu atât de critic de la un sistem PA la bord [42]. Atâta timp cât încearcă să acceseze aceeași resursă radio de canal de 2,4 GHz sau 5 GHz, toți au același nivel de prioritate în ceea ce privește 802.11.

CONCLUZII

Comunicarea radio joacă un rol cheie în sistemele moderne de semnalizare bazate pe comunicații, deoarece conectează trenul la marginea căii pentru a transfera informații de control de înaltă rezoluție și în timp real ale trenului. Cu ajutorul acestor informații, CBTC oferă o serie de avantaje majore față de un sistem de semnalizare convențional, și anume, avansuri mai scurte care duc la capacitate mai mare, mai puține echipamente pe cale, punctualitate mai mare, siguranță îmbunătățită și suport pentru operațiuni automate de tren.

O examinare amănunțită a beneficiilor și dezavantajelor utilizării unei tehnologii de comunicații radio, în special IEEE 802.11 Wi-Fi, pentru CBTC, a arătat că succesul Wi-Fi poate fi atribuit în principal ratelor mari de date, ușurinței instalării și întreținerii, și eficiența sa din punct de vedere al costurilor ca urmare a echipamentelor radio COTS ușor disponibile și a funcționării fără licență. Pe de altă parte, susceptibilitatea la interferențe, lipsa suportului pentru mobilitate și raza scurtă a semnalului sunt câteva dintre dezavantajele sale. O comparație a echipamentelor radio bazate pe Wi-Fi cu primele COTS și echipamentele personalizate a dovedit că primul este cu mult mai ieftin [29-32, 42]. O privire de ansamblu aprofundată a configurației rețelei radio CBTC a arătat că, deși o distanță inter-AP tipică în CBTC este de numai 200-300 de metri din cauza razei scurte a semnalelor Wi-Fi, ar putea fi atinsă o rază semnificativ mai mare de până la diferiți kilometri. prin reglarea diversilor parametri. O evaluare a design-urilor și topologiilor alternative pentru rețeaua radio de la tren la cale a arătat că redundanța este cheia pentru asigurarea unei disponibilități ridicate în CBTC, iar disponibilitatea poate fi crescută dramatic prin asigurarea redundanței la mai multe niveluri [29-32, 42]. Standardul IEEE 802.11 a fost dezvoltat în primul rând pentru utilizatorii

STANDARDE DE PERFORMANȚĂ ȘI FUNCȚIONARE PENTRU SISTEMELE CBTC

staționari într-o zonă limitată și, prin urmare, în mod inerent nu acceptă mobilitatea. A fost inclus un rezumat al diferitelor eforturi de standardizare pentru CBTC. Cu intenția de a aduce mai multă atenție standardului IEEE CBTC, a fost prezentat un scurt rezumat al standardului, inclusiv valorile parametrilor ghidului pentru performanță optimă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] „*Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*”, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA: IEEE, 2004, pp. 11, 12, 14–16, 18, 25, 38.
- [2] „*User Interface Requirements in Communications-Based Train Control (CBTC) Systems*”, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA: IEEE, 2003, pp. 11, 38.
- [3] „*Recommended Practice for Communications-Based Train Control (CBTC) System Design and Functional Allocations*”, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997, USA: IEEE, 2008, p. 38.
- [4] **R. Alvarez, J. Roman**, „*ETCS L2 and CBTC over LTE - Convergence of the radio layer in advanced Train Control Systems*”, in: IRSE (Institution of Railway Signal Engineers) technical meeting, 2013, pp. 1, 11, 21, 22, 38.
- [5] **Siemens**, „*Trainguard MT: Optimal performance with the world's leading automatic train control system for mass transit*”, 2014, URL: <http://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2013/infrastructure-cities/mobility-logistics/2013-02-trainguardmt/broschuere-trainguard-mt-e.pdf> pp. 16, 19, 38, 41.
- [6] **I. Silajev**, „*Thales CBTC - Communication Based Train Control Rail Signalling Solutions*”, URL: <http://www.rpknis.rs/ictforum2010/PPTprezentacije/English/CBTCCommunication%20Based%20Train%20Control%20-%20Igor%20Silajev.pdf>, pp. 16, 38, 41.
- [7] **Siemens**, „*Cityval and Airval - Automated transportation systems*”, 2013, Site Collection Documents en rail solutions automated people mover, pag. 18.
- [8] **Thales**, „*SelTrac CBTC worldwide references*”, aug. 2014. URL: https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/seltrac_cbtc_references.pdf, pp. 33, 38, 41.
- [9] **Alstom**, „*URBALIS. Communication Based Train Control (CBTC), Delivery Performance and Flexibility*”, mar. 2009, URL: <https://signallingsolutions.com/wpcontent/uploads/files/urbalis.pdf>, pp. 38, 41.
- [10] **Bombardier**, „*Rail Control Solutions: CITYFLO: Signalling for mass transit*”, 2012, pp. 38, 41.
- [11] **Siemens**, „*Trainguard MT: The scalable automatic train control system for maximum flexibility in modern mass transit*”, URL: <http://w1.siemens.ch/mobility/ch/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/rail-automation/train-controlsystems/trainguard-mt-en.pdf>, 2010, pp. 38, 41.
- [12] **Ansaldo STS**, „*CBTC - Communication Based Train Control*”, URL: http://www.ansaldosts.com/sites/ansaldosts.message-asp.com/files/imce/asts_hitachi_cbtc_ingl_lr.pdf, pp. 38, 41.
- [13] **CENELEC**, „*Global Partners IEC*”, URL: <http://www.cenelec.eu/aboutcenelec/whowear/globalpartners/iec.html>, p. 38.
- [14] **S. Morar**, „*Evolution of Communication Based Train Control worldwide*”, In: Proc. IET Professional Development Course on Railway Signalling and Control Systems (RSCS '10). June 2010, pp. 281–289.
- [15] **IEC**, „*IEC 62290-1 Ed.2: Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts*”, 2014, p. 38.
- [16] **J.L. Boulanger**, „*CENELEC 50128 and IEC 62279 Standards*”, Wiley, 2015, pag. 38).
- [17] **J.B. Balliet**, „*Bridging the European and US Rail Safety. The Feasibility of Cross Acceptance*”, Tech. rep. AREMA, 2011, pag. 38.
- [18] **AREMA**, „*Communications and Signals Manual of Recommended Practices*”, URL: <https://www.arena.org/publications/cs/index.aspx>, pag. 38.
- [19] **European Commission, MODURBAN**, „*next generation urban rail systems*”, URL: http://ec.europa.eu/research/transport/projects/items/modurban_next_generation_urban_rail_systems_en.htm, pag. 38.

- [20] **Institute of Electrical and Electronics Engineers**, „*IEEE Standard for Communications Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements*”, IEEE Std 1474.1-2004 (Revision of IEEE Std 1474.1-1999), 2004.
- [21] **International Electrotechnical Commission**, „*IEC 62290-1: Railway applications: Urban guided transport management and command/control systems*”, Part 1: System principles and fundamental concepts, 2007.
- [22] **International Electrotechnical Commission**, „*IEC 62290-2: Railway applications: Urban guided transport management and command/control systems*”, Part 2: Functional requirements specification, 2011.
- [23] **J. S. Stover**, „*CITYFLO 650 System Overview*”, <http://goo.gl/e26SZ>, 2006.
- [24] **Signalling Solutions Limited**, „*URBALIS Communication Based Train Control (CBTC) Delivery Performance and Flexibility*”, <http://goo.gl/G3hEe>, 2009.
- [25] **Thales Transportation**, „*Seltrac Brochure*”, <http://goo.gl/OjvhK>, 2009.
- [26] **Invensys Rail**, „*SIRIUS Brochure*”, <http://goo.gl/YFUil>, 2009.
- [27] **Ansaldo STS**, „*CBTC Brochure*”, <http://goo.gl/3Kmb0>, 2011.
- [28] **Siemens Transportation Systems**, „*Trainguard MT CBTC*”, <http://goo.gl/Xi0h0>, 2006, The Moving Block Communications Based Train Control Solution.
- [29] **A. Neacşa, 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), 474-479, 2009.
- [30] **C.N. Eparu, S. Neacşu, A. Neacşa, A.P. Prundurel**, „*The comparative thermodynamic analysis of compressor's energetic performance*”, Mathematical Modelling of Engineering Problems, 2019, 6(1), pages 152-155.
- [31] **A. Neacşa, 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 2014, 18(4).
- [32] **A. Neacşa, 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 2014, 18(4).
- [33] **A. Jeronimo**, „*Solving the Capacity Challenge - CBTC for Metro de Madrid*”, <http://goo.gl/7Sy1C>, 2010.
- [34] **A. Guerra**, „*Il nuovo sistema CBTC per metropolitane - L'automazione della linea 1 della Metropolitana di Milano*”, <http://goo.gl/VGnzf>, 2009.
- [35] **I. Silajev**, „*Basic Signalling Principles for System Engineers. Rail Signalling Solutions*”, 2010.
- [36] **Alcatel**, „*Integration of Wireless Network Technology with Signaling in the Rail Transit Industry*”, 2003.
- [37] **G. Pascualt**, „*Response to the Driverless and CBTC growing market*”, <http://goo.gl/fAL5n>, 2011.
- [38] **Siemens Transportation Systems**, „*Airlink - High performance wireless broadband onboard connection*”, <http://goo.gl/oRNEB>, 2010.
- [39] **Siemens Transportation Systems**, „*High availability train to wayside communication system for metro applications*”, <http://goo.gl/PKG9i>, 2008.
- [40] **IEEE 802.11**, „*Wireless LAN MAC and Physical Layer Specifications*”, Editors of IEEE, 1997.
- [41] **P. Karn**, „*MACA – A New Channel Access Method for Packet Radio*”, Proceeding of 9th ARRL Computer Networking Conference, London, Ontario, Canada, pages 1–5, 1990.
- [42] **A. Neacşa, N.N. Antonescu, D.B. Stoica**, „*Software Applications for Complex Technological Systems Reliability*”, Journal of the Balkan Tribological Association 15 (1), 45-51, 2009.