اولین کنفرانس ملی تصادفات وسوانح جاده ای و ریلی
ایران- زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی –واحد زنجان، آذر ۱۳۸۸

افزایش ایمنی سیر وحرکت قطارها و استفاده بهینه از ظرفیت شبکه ریلی در ایران به کمک روش های ترکیبی تشخیص و کنترل قطارها

محمد کبریایی[۱]، محمد علی صندیدزاده [۲]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد راه آهن برقی، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ kebriaei@gmail.com
[۲]استادیار دانشکده راه آهن ، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ sandidzadeh@iust.ac.ir

چکیده

کاهش ذخیره های انرژی و بالارفتن ارزش سوخت های فسیلی موجب شده است تا راه آهن که به عنوان بهینه‌ترین ناوگان حمل و نقل در مصرف سوخت و انرژی مطرح است در ایران نیز مورد توجه جدی قرار بگیرد افزایش ترافیک شبکه ، مساله امنیت سیر قطارها و کنترل ایمن آن ها را بیش از پیش مطرح می کند. سیستم سیگنالینگ به عنوان یکی از حیاتی ترین زیرساخت های صنعت حمل و نقل ریلی می باشد که ایمنی و قابلیت اطمینان شبکه ریلی کاملا وابسته به آن است. از اصلی ترین نیازهای سیستم سیگنالینگ تشخیص قطار است که از ابتدای پیدایش راه آهن تا کنون روش های مختلفی برای این منظور به کار گرفته شده اند. هم چنین امکان ارتباط دائم و پیوسته با قطار ، کنترل لحظه ای آن و جلوگیری از بروز سانحه با اعمال فرامین مناسب در هر شرایطی انتظاراتی است که از سیستم سیگنالینگ می رود.

راه کارهای مختلفی امروزه در دنیا برای این امر به کار می‌رود که می‌توان از سیستم‌های کنترل خودکار قطارها (ATC) نام برد. کشورهای مختلف اروپایی و آمریکایی سعی در توسعه و ارائه استانداردهایی برای این سیستم‌ها دارند. در ایران نیز حرکت به سمت استفاده از آن‌ها امری است اجتناب ناپذیر ولی هم هزینه بالایی را در بر خواهد داشت و هم مدت زمان زیادی پیاده سازی آن طول خواهد کشید. در این مقاله سعی شده تا با بررسی مهمترین روش های تشخیص قطار که امروزه مورد استفاده قرار می گیرد و با پرداختن به روش های نوین و ایمن ارتباطی در راه آهن ، سیستم قابل اطمینانی برای رسیدن به یک سیستم حمل و نقل ریلی ایمن و قابل اعتماد با امکان استفاده بهینه از ظرفیت شبکه ریلی در ایران ارائه گردد.

کلمات کلیدی: سیگنالینگ ، مدار راه ، بلاک ثابت ، بلاک متغیر

مقدمه

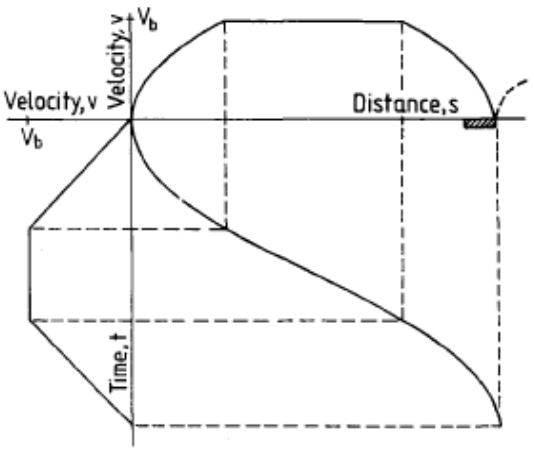
با توجه به ویژگی های منحصر به فرد حمل و نقل ریلی ، این صنعت حمل و نقل در کشورهای مختلف روز به روز توسعه یافته و در این میان آن چه که بیشتر مورد اهمیت است بالابردن امنیت ، سرعت ، قابلیت اطمینان این سیستم می باشد .

یکی از مهمترین زیرساخت های راه آهن که قابلیت اطمینان ، امنیت و حتی تا حد زیادی سرعت وابسته به آن است سیستم های کنترل و سیگنالینگ آن می باشد که شامل دو بخش تشخیص قطار و ارسال فرامین و کنترل حرکت آن می باشد.

اگر در طول یک خط و میان فاصله دو ایستگاه فقط یک قطار را در مسیر در نظر بگیریم ، آن قطار از لحظه شروع حرکت از ایستگاه مبدا تا رسیدن به ایستگاه مقصد و توقف در آن ، یک زمان شتاب گیری ، یک زمان حرکت با سرعت ثابت و یک زمان ترمزگیری خواهد داشت. شتاب گیری می‌تواند تا رسیدن به حداکثر سرعت خط ادامه پیدا کند و ترمزگیری از زمانی آغاز می‌شود که قطار مطمئنا در ایستگاه متوقف شود. در بقیه طول مسیر قطار با سرعت ثابتی که می‌تواند حداکثر سرعت خط باشد حرکت می‌کند. شکل یک منحنی سرعت – مسافت – زمان یک قطار در طول حرکت را نشان می‌دهد.

ولی وقتی چندین قطار را به طور متوالی و پشت سرهم در یک خط در حال حرکت داشته باشیم، با توجه به سرعت سیر مختلف قطارها و شرایط متفاوت حرکتی آن‌ها ، احتمال برخورد بین آن‌ها به وجود می‌آید پس باید حرکت آن‌ها به گونه‌ای باشد که هیچ برخوردی بینشان صورت نگیرد. برای این منظور لازم است تا فرامینی جهت حرکت به قطار ها در طول مسیر ارسال شود[۱].

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱ – منحنی سرعت-مسافت-زمان یک قطار در طول حرکت

سیستم سیگنالینگ

حفظ فاصله ایمن بین دو قطار و جلوگیری از تصادم آن‌ها به عهده سیستم سیگنالینگ است. علاوه بر آن وظیفه عمده دیگر سیستم سیگنالینگ تنظیم زمان حرکت قطارهای متوالی و متقابل و کنترل سرعت آن‌ها می‌باشد. به طور کلی سیستم سیگنالینگ به دو روش بلاک ثابت و بلاک متغیر کار می‌کند. روش بلاک ثابت از دیرباز مورد استفاده قرار می‌گرفته است و روش بلاک متغیر در سال‌های اخیر از طرف راه آهن‌های پیشرفته دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که اشاره شد اجزای سیگنالینگ به قدمت خود راه آهن می‌باشند. به مرور با استفاده از سیمافور و اینترلاکینگ مکانیکی شروع شده و به سمت اینترلاکینگ الکتریکی و نیوماتیکی و رله ای با قابلیت کنترل از راه دور پیش رفته است. تکنولوژی اینترلاکینگ با ورود واحدهای کنترل میکروپروسسوری در سال ۱۹۷۹ کامل گردید[۲].

وظایف سیگنالینگ را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- جلوگیری از تصادم بین قطارها
- جلوگیری از خروج از خط قطار در تقاطع‌ها و سوزن‌ها
- جلوگیری از تصادم در تقاطع‌های همسطح
- استفاده بهینه از سرویس قطار

موارد فوق تعدادی از اصلی‌ترین وظایف سیستم سیگنالینگ هستند که در کنار آن‌ها می‌تواند وظایف دیگری همچون جلوگیری از تصادف کارکنان و انسان‌ها با قطار ، دادن سرعت ماکزیمم امن برای حرکت قطار ، جلوگیری و پیشگیری از خطاهای مسیر ، خرابی راه و ... را برشمرد[۳].

سیستم‌های سیگنالینگ بلاک ثابت

سیستم بلاک ثابت ، سیستم معمول و رایج اکثر راه آهن ها در سراسر دنیا می‌باشد. در این سیستم خط به بلاک‌هایی تقسیم می-شود که حداقل طول هر کدام از آن‌ها به حداکثر سرعت قطارها ، فاصله ترمز قطارها و تعداد نماهای سیگنال که امروزه توسط چراغ هایی به رنگ های مختلف نشان داده می‌شوند بستگی دارد. فقط یک قطار می‌تواند در هر زمان در یک بلاک حضور داشته باشد و حضور قطارها در بلاک‌ها عموما توسط مدارراه تشخیص داده می‌شود[۴].

قطار بعدی زمانی اجازه دارد به بلاک وارد شود که آن بلاک آزاد باشد و سرعت آن به اندازه‌ای پایین باشد که بتواند قبل از ورود به بلاک اشغال بعدی متوقف شود. در سیستم‌های سیگنالینگ غیر خودکار نظم دادن توسط گذاشتن سیمافور یا چراغ‌های رنگی در ورودی بلاک‌ها انجام می‌پذیرد. با این شرایط در صورت تغییر فرمان یا به وجود آمدن موقعیت اضطراری پس از ورود قطار به بلاک امکان اطلاع رسانی به قطار وجود ندارد[۱].

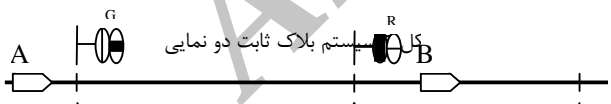
از زمانی که قطار شروع به ترمزگیری می‌کند تا زمانی که کاملا متوقف می‌شود مدت زمانی طول خواهد کشید و در این فاصله قطار مسافتی را خواهد پیمود که با توجه به روابط فیزیکی ساده می‌توانیم این فاصله را محاسبه کنیم(رابطه ۱).

رابطه ۱
$$V_m^2 - 0 = 2bL_{br}$$

رابطه ۲
$$L_{br} = \frac{V_m^2}{2b}$$

که V_m سرعت مجاز خط و b شتاب کندشوندگی قطار می‌باشد. با توجه به رابطه فوق رابطه ۲ برای بهترین شرایط بوده و به طور کلی عوامل مختلف زیادی در فاصله ترمز موثر می‌باشند که باید آن‌ها را نیز در نظر گرفت.

با توجه به مطالب بیان شده در بالا شکل ۲ یک سیستم بلاک ثابت دو نمایی را نشان می‌دهد. بلاک B توسط قطار B اشغال شده است و سیگنال ورود آن قرمز می‌باشد که به معنای عدم اجازه ورود به بلاک است. ورود به بلاک A برای قطار A آزاد می‌باشد(سیگنال سبز است) بدین شرط که بتواند قبل از سیگنال قرمز متوقف شود.



شکل ۲ – سیستم بلاک ثابت دو نمایی

همانطور که ذکر شد قطار باید به گونه‌ای قبل از ورود به بلاک اشغال متوقف شو[illegible] بلاک B [illegible]ن منظور قطارها را [illegible] بلاک A [illegible]سل زمانی خاصی اعزام کرد که این فاصله زمانی را هدوی زمانی می‌نامند. هدوی وابسته به عواملی هم چون طول قطار و فضای ایستگاه برای اعزام و دریافت قطار می‌باشد.

در سیستم بلاک ثابت و برای این که قطار قبل از رسیدن به بلاک اشغال متوقف شود اصولا هدوی را به کمک طول بلاک تعریف می-کنند که با توجه به شرایط مختلف عموما از رابطه ۳ برای این منظور استفاده می‌شود[۵].

رابطه ۳
$$H = \frac{\sum S_i + D + L}{V}$$

Archive of SID

www.SID.ir

که در این رابطه :

H = هدوی دیدن ثانیه

L = طول قطار

D = فاصله دید تا سیگنال بعدی (فاصله‌ای که راننده قبل از رسیدن به سیگنال هشدار ، جهت کاهش سرعت خود اقدام به اعمال ترمز می‌نماید فاصله دید نامیده می‌شود)

V = ماکزیمم سرعت خط

S = طول بلاک

i = تعداد بلاک‌های در نظر گرفته شده میباشد.

تعداد بلاک‌هایی که در نظر گرفته می‌شود(i) وابسته به عواملی هم چون تعداد نمای سیگنال‌ها می‌باشد. تعداد این نماها از دو تا چهار نما می‌تواند متفاوت باشد. با بیشتر شدن تعداد نماها طول بلاک می‌تواند کوچکتر در نظر گرفته شود. به عنوان مثال در سیستم سه نمایی کمترین فاصله بین دو قطار برای اطمینان از توقف پشت چراغ قرمز به اندازه سه بلاک در نظر گرفته می‌شود[۶].

با توجه به هدوی می‌توانیم ظرفیت خط را که برابر تعداد قطارهایی است که در یک ساعت از یک نقطه معین از خط عبور می‌کنند را با استفاده از رابطه ۴ به دست آوریم[۵].

$$Q = \frac{3600}{H}$$ رابطه ۴

در رابطه فوق Q = ظرفیت خط می‌باشد.

همانطور که قبلا گفته شد تعداد نماهای در تعیین حداقل طول بلاک موثر می‌باشند به گونه‌ای که با استفاده از تعداد نماهای بیشتر طول بلاک ها را می‌توان کاهش داد. به عنوان نمونه در سیستم دو نمایی در بهترین شرایط طول بلاک حداقل باید به اندازه طول مسیر ترمز قطار باشد ولی در بعضی موارد در سیستم چهارنمایی طول بلاک را یک سوم فاصله ترمز در نظر می‌گیرند(رابطه۵). در این صورت فاصله ایمن بین دو قطار را پنج برابر طول بلاک قرار می‌دهند[۴].

$$S = \frac{\left(\frac{V_m^2}{2b}\right)}{3}$$ رابطه۵

V_m = حداکثر سرعت مجاز خط

b = شتاب ترمزی

S = طول بلاک

سیگنالینگ بلاک متحرک

تحت سیستم بلاک متحرک دیگر طول خط به بلاک‌های ثابت و مشخص تقسیم نمی‌شود بلکه بلاک‌ها با توجه موقعیت و شرایط قطارهای متوالی تعیین می‌گردند. ساده ترین طرح بلاک فاصله متغیر است که در آن حداقل فاصله لحظه‌ای بین دو قطار متوالی توسط رابطه ۶ به دست می‌آید[۴]:

$$S(t) = \frac{V_m^2}{2b} + SM$$ رابطه ۶

وقتی که:

S(t) = حداقل فاصله لحظه‌ای بین دو قطار

V_m = سرعت حداکثر خط

و SM = فاصله امنیت حاشیه‌ای باشد.

تنها اطلاعاتی که در این طرح از بلاک متغیر قطار دنبال رو نیاز دارد موقعیت مکانی خود و قطار پیشرو است[۴].

نوع دیگر سیستم بلاک متغیر ، بلاک زمان متغیر می‌باشد که در آن هدوی بین دو قطار در هر نقطه از خط همیشه ثابت بوده و به سرعت حرکت بستگی دارد. حداقل فاصله بین دو قطار در این سیستم از رابطه ۷ قابل محاسبه است[۴]

$$S(t) = \frac{v_f(t)V_m}{2b} + SM$$ رابطه ۷

که در آن $v_f(t)$ سرعت قطار دنبال رو می‌باشد.

بلاک متغیر محض که نوع دیگری از سیستم بلاک متغیر است نیاز به اطلاعاتی در مورد موقعیت مکانی قطارهای متوالی و سرعت قطار دنبال رو دارد. در این حالت فاصله حداقل از طریق رابطه ۸ به دست میآید[۴].

$$S(t) = \frac{v_f^2(t)}{2b} + SM$$ رابطه ۸

حداقل فاصله بین دو قطار به طور اساسی وابسته به فاصله ترمز لحظه‌ای مورد نیاز قطار بوده به اضافه یک فاصله امنیت [۴] به طوری‌که در صورتی که قطار پیش رو به طور ناگهانی متوقف شود از تصادم اجتناب شده باشد.

تشخیص قطار

از مهمترین روش های تشخیص قطار کـه امـروزه از آن اسـتفاده می شود به طور کلی می توان به موارد زیر اشاره کرد :

- سیستم تشخیص قطار از طریق مدار راه
- سیستم تشخیص قطار از طریق محور شمار
- سیستم های تعیین موقعیت قطار

در دو روش اول طول خط آهن به قسمت های کوچکتری به نـام تراک تقسیم شده و آزاد/اشغال بودن این تـراک هـا در صـورت عـدم حضور/حضور قطار در آن توسط تجهیزاتی کـه عمومـا در کنـار خـط نصب می گردند مشخص می گـردد . در روش سـوم موقعیـت دقیـق قطار توسط سیستم های گوناگونی که روی خود قطار نصب می شوند تعیین شده و اطلاعات به روش هـای مختلـف بـه کنـار خـط ارسـال گشته و به مرکز کنترل می رسد .

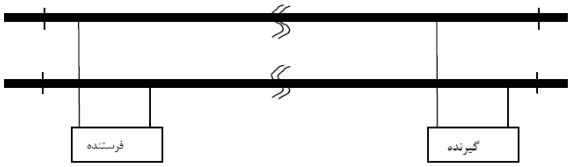
مدار راه برای اولین بار در سال ۱۸۶۹ در آمریکا توسط ویلیام رابینسون مورد استفاده قرار گرفت. مدار راه اصولا یک مدار الکتریکی است که حضور یا عدم حضور قطار را در یک بخش از خط جهت اعمال کنترل های لازم و تامین ایمنی سیر و حرکت تشخیص می دهد. اجزای تشکیل دهنده تمام مدار راه های الکتریکی به طور کلی عبارت اند از :

- منبع تولید جریان متناوب برای تغذیه ریل ها و اعلام وضعیت خط

شکل ۳ طرح کلی از یک مدار راه را نشان می دهد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- طرح کلی مدار راه

فرستنده سیگنال الکتریکی را به ریل می فرستد که در گیرنده این سیگنال دریافت می گردد و موجب جذب ماندن رله ای می گردد. نرسیدن سیگنال به گیرنده که به علت حضور قطار در خط و اتصال کوتاه آن است موجب دفع شدن رله گشته که اشغال بودن تراک را نشان می دهد.

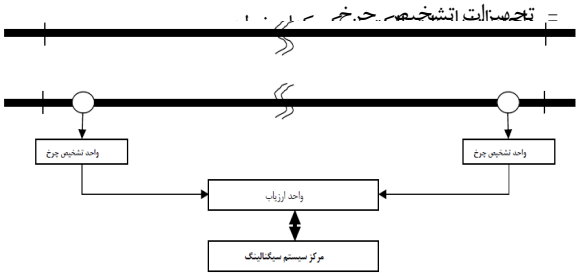
با توجه به نوع سیگنال ارسالی فرستنده مدار راه ها به انواع مختلف :

انتخاب نوع مدار راه وابسته به عوامل متعددی از جمله نوع کاربرد ، طول مورد نظر برای بلاک ، وضعیت و شرایط بالاست ، نوع سیستم تراکشن ، نوع اتصال ریل ها و برقی و غیر برقی بودن خطوط و هزینه تمام شده می باشد.

مدار راه ها مزایایی همچون سادگی نصب ، خطای پایین ، امکان ارتباط با قطار در برخی انواع ، تعمیر و نگهداری آسان را دارند ولی در عوض طول مدار راه محدود و وابسته به شرایط فیزیکی و الکتریکی خط بوده به طوری که کارکرد آن با تغییر شرایط خط ممکن است تغییر کند و نیز فقط امکان مشخص نمودن اشغال یا عدم اشغال تراک وجود دارد و نمی توان فهمید که قطار در کدام نقطه از تراک قرار گرفته است. حداقل طول مدار راه نیز برای پوشش دادن طولانی ترین وسیله نقلیه عبوری ریلی طبق استاندارد می تواند ۱۸/۳ متر باشد.

در میان انواع مدار راه ها ، مدار راه جریان مستقیم ساده ترین و ارزان ترین نوع آن بوده ولی برای سه نوع مدار راه جریان مستقیم و جریان متناوب و ایمپالسی نیاز به عایق بین ریل ها برای جداسازی تراک ها می باشد که این امر نیاز به صرف هزینه های قابل ملاحظه ای جهت نصب و نگهداری و بازرسی پیوسته دارد. مدار راه فرکانس صوتی نیاز ه عایق الکتریکی بین ریل ها نداشته و تراک های متوالی توسط واحد های تنظیم از یکدیگر جدا می گردند. این نوع مدار راه به طور خاص جهت تامین ایمنی مورد نیاز در خطوط ریلی الکتریکی و خطوطی که نیاز به ارسال اطلاعات به قطار از طریق ریل توسط مدارراه می باشد مورد استفاده قرار می گیرد[۷].

سیستم محور شمار نیز در حالت کلی مشابه سیستم مدار راه بوده به این ترتیب که حضور یا عدم حضور قطار را در تراک های خط نشان می دهد و مانند مدار راه قابلیت مشخص کردن محل دقیق قطار را ندارد. این سیستم به این طریق عمل می نماید که با عبور قطار ، چرخ های ورودی به بلاک را توسط یک سیستم تشخیص که در ورودی تراک نصب شده است شمارش می نماید و در یک واحد ارزیاب با سیستم تشخیص دیگری که چرخ های خروجی از تراک را می شمارد مقایسه می شود. در صورت اختلاف این دو عدد مشخص می گردد که قطار در تراک مورد نظر حضور دارد. پس به طور کلی سیستم محور شمار شامل قسمت های زیر است :



شکل ۴- سیستم محور شمار

محور شمار نسبت به اغلب مدار راه ها هزینه نصب و نگهداری بالاتری داشته لیکن محدودیت های مدار راه را ندارد به گونه ای که طول آن تا هر اندازه قابل افزایش بوده و نسبت به شرایط فیزیکی و الکتریکی خط حساسیت چندانی ندارد.

تعیین موقعیت قطار

تعیین موقعیت قطار ها به عنوان یک نیاز از ابتدای پیدایش راه آهن مطرح بوده است اما در سیستم های سنتی بلاک ثابت و با ترافیک کم و پایین سیر و حرکت قطار ها ، اطلاعات موقعیت قطار ها تاثیر چندانی بر تامین ایمنی حرکت نداشته اند. اما امروزه با توجه به سیستم های اتوماتیک کنترل قطار ، اطلاعات سرعت و موقعیت مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند.

در این گونه سیستم ها کنترل دقیق قطار ها درون تراک ها توسط سیستم های هدایت خودکار قطار صورت می گیرد که عملکرد صحیح این سیستم ها همانگونه که در بالا اشاره شد نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از وضعیت قطار می باشد.

علاوه بر موارد فوق در سیستم های بلاک متحرک (که در آن ها دیگر بلاک های ثابت با طول از قبل تعریف شده در طول خط وجود ندارد) اطلاعات دقیق از وضعیت قطار از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. برای نیل به اهداف مورد نظر سیستم های تعیین موقعیت باید در مرحله اول بتوانند اطلاعات مورد نیاز را از قطار به دست آورند و در مرحله بعد آن اطلاعات را به کنار خط ارسال کنند.

تجهیزات اندازه گیری درون قطار

این تجهیزات در درون قطار نصب شده تا موقعیت دقیق و و ضعیت کنونی قطار را کسب نمایند. مهمترین این تجهیزات که امروزه در وسایل نقلیه ریلی به کار می روند عبارتند از :

الف) تاکومتر

تاکومترها امروزه به طور کلی به ابزارهایی گفته می شوند که جهت سنجش سرعت موتورهای الکتریکی یا اجسام دوار به کار می روند. با توجه به نوع عملکرد می توان آن ها را به دو دسته آنالوگ و دیجیتال تقسیم بندی کرد. نوع آنالوگ عموما یک موتور الکتریکی جریان

Archive of SID
www.SID.ir

مستقیم است که به طور مکانیکی با محور موتور اصلی کوپل شده و ولتاژ خروجی آن متناسب با سرعت گردش محور آن می باشد(رابطه۹)

$$V_{tacho} = Kw_m$$ رابطه۹

پس با توجه به رابطه فوق اگر محور تاکومتر را به طور مکانیکی با محور حرکتی قطار کوپل کنیم در خروجی ولتاژی متناسب با سرعت خواهیم داشت که از روی آن می توانیم سرعت لحظه ای قطار را محاسبه کنیم[۸].

انواع دیجیتال عموما شامل یک انکدر سرعت و یک مدار الکترونیکی می باشند. انکدر سرعت می تواند یکی از سه نوع مغناطیسی ، نوری یا خازنی باشد[۹]. خروجی انکدر که یک موج مربعی می باشد وارد مدار الکترونیکی یا میکروپروسسوری شده و در ساده ترین روش برای به دست آوردن سرعت و مسافت طی شده تعداد پالس های انکدر(n) در مدت زمان مشخص (T) شمرده می شوند. اگر a زاویه متناظر هر پالس انکدر باشد آن‌گاه سرعت دورانی با توجه به رابطه۱۰ به دست می آید[۱۰] .

$$w_m = an/T$$ رابطه۱۰

برای این که خطای سنجش سرعت و مسافت توسط تاکومتر را پایین آورد می توان از سیستم چند تاکومتری استفاده کرد به این ترتیب که سرعت روی چند محور جداگانه اندازه گیری شده و با هم مقایسه گردد.

ب) سرعت سنج رادار: سرعت متحرکی را که سنسور بر روی آن نصب شده است را نسبت به زمین اندازه گیری میکند. این سنسور اصولا با زاویه ای زیر وسیله نقلیه نصب می گردد و فرکانسی را ارسال و بازتاب آن را دریافت می کند. اگر فرکانس ارسالی برابر f_0، سرعت حرکت قطار v، سرعت نور c و زاویه ارسال a باشد ، آنگاه فرکانس دریافتی f از رابطه۱۱ به دست می آید[۱۱].

$$f = \frac{f_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1+\frac{v}{c}\cos a}$$ رابطه۱۱

کنترل و ارتباط با قطار

پس از این که اطلاعات وضعیت قطار به دست آمد باید بتوان به نحوی این اطلاعات را به کنار خط و مراکز کنترل ارسال کرد. این امر به دو روش ارسال پیوسته اطلاعات و ارسال ناپیوسته صورت می گیرد. ارسال ناپیوسته از طریق بالیس و ارسال پیوسته از طریق مدار راه یا امواج رادیویی می باشد.

ج) استفاده از GPS: جهت تعیین موقعیت مطلوب تعیین موقعیت دقیق قطار استفاده از سیستم GPS است. یک پیشنهاد مفید استفاده از دو سیستم GPS در کل قطار می باشد. یکی روی لکوموتیو و دیگری نصب شده در آخرین واگن تا هم وظیفه تعیین موقعیت قطار و هم وظیفه تشخیص اتصال قطار را بتواند انجام دهد. این سیستم باید بتواند از عهده وظایف زیر برآید:

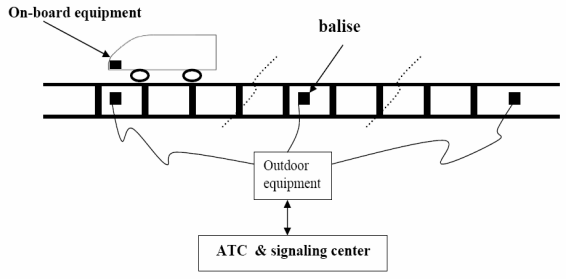
- تشخیص لحظه‌ای مکان قطار از حیث طول و عرض جغرافیایی
- تشخیص سرعت لحظه‌ای قطار
- تشخیص کامل بودن قطار

تجهیزات مورد نیاز در این سیستم به دو دسته سخت افزاری و نرم افزاری تقسیم می شوند. تجهیزات سخت افزاری شامل مدارات الکترونیک ، اجزای RF ، آنتن ها و هر جزو مورد نیاز دیگر برای گیرنده است. نرم افزار مورد نیاز نیز شامل برنامه ها و پردازش اطلاعات مورد نیاز برای تبدیل اطلاعات GPS به اطلاعات قابل استفاده برای کاربر می باشد.

در این سیستم روی هر قطار گیرنده GPS نصب می شود و علاوه بر آن هر قطار باید قابلیت ارسال اطلاعات به صورت بی سیم را به ایستگاه های معین شده در کنار خطوط داشته باشد تا موقعیت و سرعت خود را اعلام کند. در ضمن برای هر قطار و هر ایستگاه باید این قابلیت وجود داشته باشد که بتوانند اطلاعات را دو جهته ارسال و دریافت کنند. یک واحد گرافیکی نیز می بایست در مرکز موجود باشد تا موقعیت هر قطار را به نمایش در آورد[۱۲].

بالیس: مهمترین وسیله ارسال اطلاعات به صورت ناپیوسته به قطار بالیس می باشد. بالیس ها تجهیزاتی هستند که در فواصل معینی از هم در کنار خط نصب می گردند و وظیفه انتقال اطلاعات به قطار را بر عهده دارند.(شکل۵) نحوه ارتباط قطار با بالس و بالیس با مراکز کنترل را نشان می دهد. درون بالیس ها فرستنده گیرنده هایی طراحی شده است که با عبور قطار از کنار (یا روی) آن ها ، اطلاعاتی که به وسیله کابل از مرکز سیگنالینگ دریافت کرده اند را به قطار ارسال می کنند. اصولا در جلوی قطار نیز فرستنده گیرنده های لازم برای برقراری ارتباط با بالیس ها تعبیه شده است. اطلاعات ارسالی از طریق گیرنده قطار عبوری از بالیس دریافت می گردد و اطلاعات وضعیت قطار نیز از طریق فرستنده درون آن به بالیس ارسال می شود.

ممکن است بالیس ها به صورت یک در میان فرستده / گیرنده باشند به این صورت که مثلا بالیس ابتدای بلاک اطلاعات را از قطار دریافت نماید و دستورات و اطلاعات لازم توسط بالیس انتهای بلاک به قطار ارسال شود. ارتباط بین بالیس ها با مراکز کنترل ممکن است به صورت کابلی یه به صورت بی سیم باشد.



شکل۵ نحوه قرار گیری و ارتباط بالیس ها

معمولا بالیس ها به همراه مدار راه ها در خطوط به کار می روند ولی ممکن است به گونه ای طراحی شده باشد که به مدار راه نیاز نداشته و خود آن ها نقش مدار راه را نیز جهت تشخیص اشغال خط ایفا کنند[۱۳].

Archive of SID
www.SID.ir

ارتباطات رادیویی

در یک شبکه راه آهن پیشرفته اطلاعات موقعیت و وضعیت قطار توسط روش های مختلفی که تعدادی از آن ها قبلا مورد بررسی قرار گرفته اند در درون قطار به دست می آید ، اطلاعات دسته بندی و پردازش شده و سپس به روش صحیح مدوله و کد گذاری شده و توسط تجهیزات رادیویی درون قطار که متناسب با شبکه رادیویی مورد استفاده می باشند به بیرون از قطار و تجهیزات بیرونی منتقل می شود و از سوی دیگر نیز اطلاعات کنترلی لازم جهت حرکت قطار به آن ارسال می گردد.

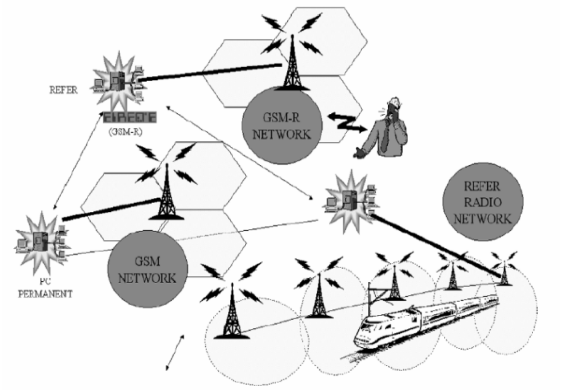
در راه آهن های مختلف و کشور های مختلف از سیستم های رادیویی متعددی استفاده می شود. پاره‌ای از سیستم های موجود مورد استفاده در راه آهن ها عبارتند از :

= آنالوگ (MPT1327 ، TETRA ، TETRAPOL ، PMR ، GSM-R و ...)

از آن جا که سیستم رادیویی مورد نظر نقشی حیاتی در کنترل حرکت قطار ها در شبکه ایفا خواهد کرد باید از قابلیت اطمینان بسیار بالایی برخوردار باشد. اتحادیه اروپا و اکثر کشور های اروپایی سیستم GSM-R را برای ارتباطات رادیویی خود انتخاب کرده اند. این سیستم بر اساس سیستم GSM می باشد. از ویژگی های سیستم GSM می توان به موارد زیر اشاره کرد:

= ساختار سلولی

ساختار GSM-R نیز همانند GSM بر مبنای سلولی بوده و برای انواع تبادل اطلاعات در شبکه راه‌آهن (بین کارکنان ، قطارها ، خط و قطار و ...) به کار می رود (شکل۶)[۱۴].



شکل۶ ساختار GSM-R

سیستم GSM-R نسبت به سیستم GSM باید دارای قابلیت های زیر نیز باشد:

- حداکثر سرعت کاربر متحرک در سیستم GSM ، ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت می باشد که به علت سرعت های بالاتر در قطار های سریع السیر GSM-R امکان ارتباط با متحرک های تا سرعت ۵۰۰ کیلومتر بر ساعت را دارد.

- به علت نیاز به برقراری ارتباط همزمان با تمامی قطار های موجود در شبکه برای اعلام وضعیت های اضطراری ، GSM-R باید این امکان را نیز فراهم کند.

- GSM-R باید امکان اولویت دهی ارتباطات را داشته باشد چرا که در سیستم راه آهن سیگنالینگ در درجه اول اولویت نسبت به بقیه ارتباطات قرار دارد.

- دو کاربر متحرک در این سیستم باید این قابلیت را داشته باشند که بدون واسطه نیز به طور مستقیم با یکدیگر ارتباط برقرار کنند.

سیستم ترکیبی تشخیص قطار و تبادل اطلاعات

سیستم های سنتی مدار راه یا محور شمار که به عنوان سیستم های بلاک ثابت از دیر باز در راه آهن ایران مورد استفاده قرار گرفته اند فقط اجازه تشخیص قطار در فاصله های مشخص یعنی همان تراک ها را می دهند و استفاده تنها از آن ها امکان داشتن ارتباط با قطارها ، کنترل آن ها و استفاده بهینه از شبکه ریلی را فراهم نمی سازد. علاوه بر همه این موارد همگام با سیستم های ریلی پیشرفته دنیا نیز نخواهد بود.

سیستم های رادیویی و ارتباطی نیز هنوز به تنهایی قادر به حفظ امنیت و اطمینان بالای مورد نیاز راه آهن نسیتند و از طرف دیگر پوشش تمامی مسیر ها و مناطق به این روش هزینه های گزاف و اضافه ای را در پی خواهد داشت.

در سیستم پیشنهادی که در شکل ۵ نشان داده شده است ، اطلاعات وضعیت و موقعیت قطار از طریق سنسور های موجود در قطار و استفاده از روابط ۹ تا ۱۱ با توجه به سنسور به کار رفته به دست آمده و توسط واحد سیستم خودکار کنترل قطار (ATC) موجود در خود قطار پردازش می گردد. این اطلاعات در این واحد با اطلاعات دریافتی از واحد GPS که همزمان هم وظیفه تعیین موقعیت و هم وظیفه تشخیص کامل بودن قطار را به عهده دارد مقایسه خواهد شد و به این روش ATC اطلاع دقیقی از موقعیت مکانی و وضعیت داخلی قطار را به دست خواهد آورد. ATC این اطلاعات را به کمک سیستم GSM-R به طور پیوسته در اختیار مرکز کنترل ATC قرار خواهد داد و از همین طریق نیز فرامین کنترلی لازم را دریافت خواهد کرد.

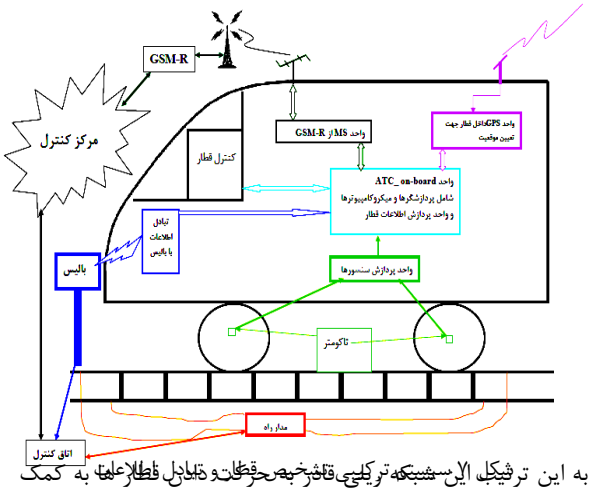
بالیس ها در نقاط مشخصی از خط قرار گرفته تا هم در فواصل معین اطلاعات را از قطار دریافت کنند و به ایستگاه های محلی مورد نظر برسانند و هم اطلاعاتی از مسیر پیش رو را در اختیار قطار قرار دهند. درست است که از طریق سیستم رادیویی این اطلاعات به طور پیوسته رد و بدل خواهد شد منتهی مناطقی وجود دارد که استفاده از سیستم رادیویی غیر ممکن یا امکان تداخل اطلاعات وجود دارد که بالیس ها پوشش دهنده این نقاط خواهند بود.

Archive of SID

www.SID.ir

مراکز کنترل با توجه به اطلاعات دریافتی می توانند فرامین کنترلی لازم را با توجه به لزوم استفاده از سیستم بلاک ثابت یا بلاک متغیر به قطارها برسانند و در موارد خاص خود قطارها نیز می توانند با دریافت اطلاعات از مسیر و قطارهای پیش روی خود به کمک روابط ۶ ، ۷ و ۸ فاصله ایمن خود را حفظ نموده و حتی در موارد قطع ارتباط با مراکز کنترل با توجه به امکان استفاده از سیستم GSM-R نصب شده روی قطارها که امکان برقراری ارتباط مستقیم بین دو قطار را می دهد ، باز هم می تواند اطلاعات مورد نیاز خود جهت حفظ فاصله ایمن را به دست آورد.

سیستم بلاک ثابت مدار راه یا محور شمار نیز در پاره ای از نقاط خط و برای استفاده سیستم سیگنالینگ و اینترلاکینگ جهت تشخیص قطار در تراک ها و اعمال فرامین سیگنال لازم مورد استفاده قرار می گیرد.



به این ترتیب این سیستم قادر به تشخیص حرکت و تبادل اطلاعات به کمک روش های سنتی و قطار های مدرن امروزه با حداکثر سرعت و امنیت بالا به منظور استفاده بهینه از ظرفیت شبکه خواهد بود. و از طرف دیگر نیز می تواند ظرفیت ها و امکانات مخابراتی نصب شده خود را در اختیار سایر نهادها و شرکت ها قرار دهد.

نتیجه

همانطور که اشاره شد از آن جا که سیستم های تشخیص قطار از مهمترین زیر سیستم های سیگنالینگ و عامل اصلی امنیت و قابلیت اطمینان شبکه و راهکار اصلی بالابردن ظرفیت مفید شبکه می باشند می بایست در انتخاب آن با توجه به نوع خط و میزان هزینه بهینه ترین سیستم تشخیص ممکن را انتخاب نمود. با توجه به نقش حیاتی این سیستم ها و با توجه به استفاده ناگزیر از سیستم های کنترل اتوماتیک در قطار های امروزی استفاده از سیستم های ارتباطی پیشرفته نیز غیر قابل اجتناب می باشد.

در یک شبکه راه آهن پیشرفته برای اطمینان از عملکرد مطمئن و بالابردن ایمنی ، بهترین روش استفاده از روش های ترکیبی می باشد. بدین ترتیب که علاوه بر استفاده از سیستم‌های سنتی مدار راه و بلاک ثابت ، در مواقع لزوم و برای بالا بردن سرعت بتوان از سیستم های بلاک متحرک نیز استفاده کرد. برای انتقال اطلاعات هم از راه های انتقال پیوسته مانند ارتباطات رادیویی که بهترین آن GSM-R است و هم از بالیس ها در فواصل معینی استفاده کرد. بدین ترتیب یک شبکه راه آهن با کارایی بسیار زیاد و قابلیت اطمینان و ایمنی بالا خواهیم داشت علاوه بر آن که می توان نهایت استفاده را از ظرفیت شبکه برد.

1-R. John Hill and Louisa J. Bond “Modelling Moving-block Railway Signalling Syatems Using Discrete-event Simulation” Proceedings of the 1995 IEEE/ASME Joint Railroad Conference, 1995.

2-R. J. Hil “Electric Railway Traction Part 4 Signalling and Interlockings” Power Engineering Journal , Volume 10 , Issue 2 , April 1996 , Page(s):201 – 206

3-Goddard, E. “Overview of Signalling and Train Control Systems” The 9th Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on Electric Traction Systems, 2006.

4-H. Takeuchi, C.J. Goodman and S. Sone “Moving-block Signalling Dynamics” Performance Measures and Re-starting Queued Electric Trains , IEE Proceedings Electric Power Applications-Vol. 150, No. 4, July 2003 , Page(s):483 – 492

5-Stuart R. McKay, Vilayil I. John and Graham E. Dawson “AN Interactive Train Operations Simulator for Integrated Applications in Transit Systems” 1990 IEEE 40th Vehicular Technology Conference, May 1990

6-Fei Lu Guohui Tian Xiaolei Li Mumin Song “The Calculation and Simulation to the Subway Train’s Time Interval” Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Qingdao, China September 2008

7-Keith Turner”General information on track circuit ; Rialway group approved code of practice (GK/RC0752) ; Issue.2” Published by:Safty & standard directorate, railtrack PLC ; 1998

8-Shorya Awtar “Electromagnetic Coupling in a dc Motor and Tachometer Assembly”Transactions of the ASME Vol. 126, SEPTEMBER 2004

9-Ralph M. Kennel ;Encoders for Simultaneous Sensing of Position and Speed in Electrical Drives with Digital Control; IEEE transaction on industry applications; volume 43 , issue 6 , 2007

10-F. Briz, J. A. Cancelas, A. Diez”Speed Measumment Using Rotary Encoders for High Performance ac Drives” 20th International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1994. IECON '94

11-JOHN E. ABATET”The Nature of Astro Doppler Velocity Measurement; IRE Transaction on space electronic and telemetry Publication Date” March 1962 Volume: SET-8 , Issue: 1

12-N.Oranye , S.Masupe , I.M.Chum , S.E.M Sebusang “Design of locomotive location indicator communication system” 7th African conerence in Africa,2004.IEEE

13- Rohan Sharma, R. Mary Lourde”Crosstalk reduction in balise and infill ilops in automatic train control” IEEE11th international conference on Intelligent engineering systems;INEN 2007

14- A.F. Neele – S.T.G. Wootton “GSM-R procurement Guide”International union of railway(UIC),2007

Archive of SID

www.SID.ir