



ETCS

Uproszczony System Kolejowy ETCS z aplikacją Unity



Autorzy: Alex Jawny[©] • Bartosz Pyzio[©] • Jakub Szwiec[©] • Marcin Tkocz[©] • Rafał Trzak[©]

Opiekun: Michał Kędziora

1 WPROWADZENIE

Kolejowy system bezpieczeństwa ETCS jest nieustandaryzowany, a jego kod źródłowy jest niedostępny publicznie. Skutkuje to nie tylko wyższymi kosztami utrzymania systemu, ale także niższymi prędkościami kolei oraz mniejszym bezpieczeństwem podróży. Celem projektu było dostarczenie środowiska testowego i prezentacyjnego uproszczonego systemu ETCS, które ma być pierwszym krokiem w procesie ujednolicania i standaryzacji tego systemu. Aplikacja maszynisty i serwer ETCS są implementacjami rzeczywistych komponentów systemu, które w przyszłości mogą być udoskonalane w ramach wykonanego środowiska testowego. Zaprojektowana aplikacja Unity symuluje rzeczywiste środowisko i ruch pociągu, z jednej strony stanowiąc źródło danych dla pozostałych komponentów, z drugiej strony będąc wizualizacją decyzji podejmowanych przez system.

2 ROZWINIĘCIE

2.1 Wstęp

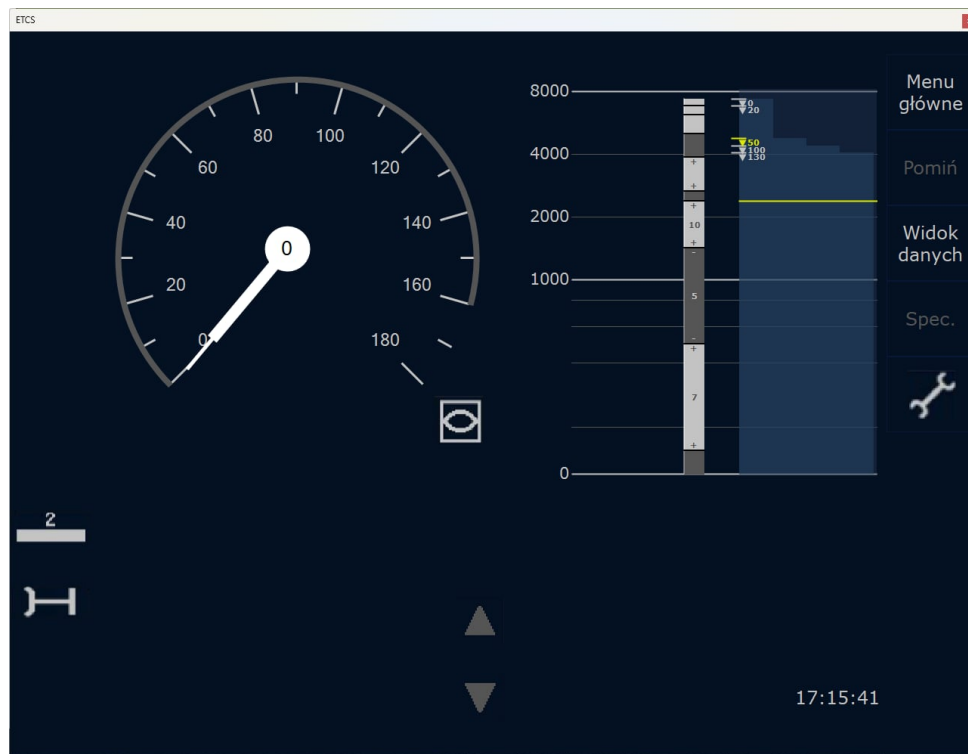
System ETCS (ang. European Train Control System) jest systemem sterowania ruchem pociągu, którego głównym zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa podróży oraz prędkości pociągów. Mimo swojej ważnej roli system nie jest w pełni ustandaryzowany – w różnych krajach implementuje się w różny sposób, zarówno pod względem zakresu funkcjonalności, jak i charakterystyki procesów i dostępnych parametrów. Z kolei kody źródłowe poszczególnych implementacji nie są dostępne do wglądu, co znacznie ogranicza możliwość wykrywania luk bezpieczeństwa i nieefektywnych fragmentów kodu, a także utrudnia wspomnianą już standaryzację. Rozwiązaniem powyższych problemów jest rozpoczęcie prac na ustandaryzowaną wersję systemu ETCS oraz zapewnienie środowiska, w którym jego komponenty będą mogły być stale udoskonalane. Rozwój ustandaryzowanego systemu zapewni

- spadek kosztów związanych z utrzymaniem i rozwojem.
- zwiększone bezpieczeństwo podróży kolejowych.
- większe prędkości pociągów, które zwiększą zarówno satysfakcję podróżujących, jak i zyski generowane przez przejazdy pociągów towarowych.

Z kolei środowisko testowe i prezentacyjne przyczyni się do stymulacji innowacji w zakresie bezpieczeństwa kolei. Zainteresowane strony takie jak przedsiębiorstwa kolejowe, uniwersytety, naukowcy i studenci, będą miały szansę na zapoznanie się z działaniem obecnej wersji systemu oraz samodzielnym projektowaniem i testowaniem nowych rozwiązań. W efekcie zwiększy się efektywność implementowanych rozwiązań, a ewentualne podatności będą szybko wykrywane.

System ETCS składa się z dwóch podstawowych składowych: aplikacji maszynisty, działającej w lokomotywach pociągów, oraz serwera ETCS, który dostarcza aplikacji maszynisty informacje niezbędne do podejmowania decyzji. Dodatkowo konieczne jest zaimplementowanie komponentu symulującego rzeczywiste środowisko – tory kolejowe i rozjazdy, semafony, przejazdy kolejowe oraz poruszające się pociągi. Wobec powyższych, w ramach projektu postanowiono zrealizować następujące cele:

- Implementacja serwera ETCS – głównym zadaniem serwera jest przechowywanie informacji o torowisku, rejestrowanie zmian na trasie (zmiany semaforów, rozjazdów, przejazdów kolejowych) oraz wydawanie pociągom Zezwolenia Na Jazdę na konkretne odcinki trasy. Zezwolenia muszą być wydawane na żądanie pociągu oraz automatycznie, w wypadku zmiany stanu torowiska. Komunikacja z aplikacją maszynisty musi być ponadto szyfrowana.
- Implementacja aplikacji maszynisty – na podstawie informacji otrzymanych z serwera, aplikacja maszynisty oblicza zalecane prędkości na poszczególnych odcinkach trasy i w zależności od wyniku obliczeń informuje maszynistę o konieczności zwolnienia lub automatycznie inicjuje hamowanie pociągu. Aplikacja może działać w różnych trybach o różnych funkcjonalnościach. Do jej zadań należy także szyfrowanie i deszyfrowanie komunikatów oraz walidacja wiadomości odbieranych z serwera.



- Implementacja aplikacji Unity – jej głównym zadaniem jest zapewnienie wizualizacji ruchu pociągu. Podczas ruchu pociągu, w wyniku mijania balis zamocowanych na torach, aplikacja Unity informuje aplikację maszynisty o aktualnej pozycji pociągu. Oprócz tego, do zadań aplikacji należy zapewnienie możliwości zmiany prędkości pociągu oraz zmiany stanu elementów torowiska – rozjazdów, semaforów oraz przejazdów kolejowych.



2.2 Prace powiązane

Jednym z ważniejszych istniejących projektów dotyczącym systemu ETCS jest openETCS. Celami tego projektu było stworzenie zestawu narzędzi do modelowania, walidacji i testowania, przeznaczonych do tworzenia wydajnych implementacji systemu ETCS. Podjęte zostały między innymi problemy formalnej specyfikacji i weryfikacji wymagań systemowych oraz generowanie i wykonywanie przypadków testowych. Istnieją także różnego rodzaju symulatory ruchu pociągu, takie jak Train Simulation Classic 2024, jednak większość z nich nastawionych jest na rozrywkę, a nie edukację i standaryzację systemu ETCS. Pojedyncze propozycje systemu ETCS typu open source są okrojone pod względem komponentów i funkcjonalności, brakuje im także środowiska testowego i prezentacyjnego. Nasz projekt ma wypełnić tę lukę, zapewniając zarówno otwarte implementacje komponentów systemu ETCS z ich kluczowymi funkcjonalnościami, jak również symulację środowiska i ruchu pociągu.

Założono, że aplikacja symulująca rzeczywiste środowisko zostanie wykonana w Unity z wykorzystaniem języka C#. Komponenty systemu ETCS miały zostać zaimplementowane w tym samym języku – aplikacja maszynisty w środowisku .NET Framework, natomiast serwer ETCS – w ASP.NET Core. Aplikacja maszynisty miała zostać zaimplementowana jako aplikacja desktopowa, gdyż w takiej formie występuje w rzeczywistości. Do rozwoju projektu wybrane zostało środowisko Visual Studio, oferujące wsparcie zarówno dla samego języka C#, jak i Unity, .NET oraz ASP.NET Core. Do zarządzania wersjami kodu wykorzystano platformę GitHub, natomiast do planowania i harmonogramowania zadań wykorzystano Jirę. Prace prowadzono w filozofii Agile, ze sprintami o długości od jednego do dwóch tygodni.

Ze względu na krótki czas implementacji projektu niemożliwe było wdrożenie całego systemu ETCS ze wszystkimi jego funkcjonalnościami. Przykładowo, w ramach aplikacji maszynisty zaimplementowano najważniejsze tryby działania, pomijając te o mniejszym znaczeniu. Innym ograniczeniem była niepełna i niespójna dokumentacja związana z brakiem standaryzacji – mimo wzorowania naszego projektu na systemie ETCS, pewne decyzje musiały zostać podjęte arbitralnie w celu zamodelowania procesów zachodzących w systemie.

2.3 Rezultaty

Projekt udało się zrealizować w zamierzonym czasie i w zakresie założonych funkcjonalności. W wyniku działań całego zespołu, powstały trzy kluczowe komponenty: aplikacja maszynisty, serwer ETCS oraz środowisko testowo-prezentacyjne Unity.

Aplikacja maszynisty jest wzorowana na rzeczywistym interfejsie spotykanym w lokomotywach pociągów. Było to możliwe dzięki materiałom dostępnym na platformie YouTube, m.in. dzięki Krzysztofowi Waszkiewiczowi oraz kanałom Pitkova Kolej i 850kN. Przed rozpoczęciem jazdy maszynista ma możliwość wprowadzenia informacji o pociągu, m.in. długości i prędkości maksymalnej pociągu, które są następnie przesyłane do serwera. Aplikacja nasłuchuje na informacje z balis wysyłane przez aplikację Unity, na podstawie których określa swoją aktualną pozycję i prędkość. Te informacje także są przesyłane do serwera i stanowią podstawę udzielania Pozwolenia Na Jazdę. Gdy aplikacja maszynisty otrzyma takie pozwolenie, jest ono przetwarzane w celu podjęcia decyzji o maksymalnej dozwolonej prędkości. Na podstawie swojego aktualnego położenia, aplikacja oblicza krzywe hamowania – jest to informacja o miejscu, w którym należy rozpocząć hamowanie, w zależności od aktualnej prędkości pociągu. Taka informacja jest wyświetlana na interfejsie graficznym w celu poinformowania maszynisty o zbliżającej się konieczności zmniejszenia prędkości. Gdy pociąg jedzie zbyt szybko i nie ma możliwości wyhamowania przed określonym końcem Pozwolenia Na Jazdę, aplikacja automatycznie inicjuje hamowanie. Oprócz tego, aplikacja wyświetla aktualną prędkość pociągu, gradienty nadchodzących odcinków torów, stan połączenia z serwerem czy wiadomości tekstowe odbierane przez aplikację. W celu poprawnego funkcjonowania systemu, aplikacja rejestruje pociąg na serwerze w momencie wjeżdżania w obszar ETCS i wyrejestrowuje go, gdy wyjeżdża z tego obszaru. Obsługiwana jest także automatyczna zmiana trybu działania aplikacji, gdy odpowiednia balisa poinformuje o możliwości przejścia do trybu ETCS.

Serwer ETCS jest komponentem wspierającym aplikację maszynisty przez zarządzanie Pozwoleniami Na Jazdę. Jest to możliwe przede wszystkim dzięki przechowywaniu informacji o torowisku – rozłożeniu poszczególnych linii i torów, rozjazdów i ich możliwych konfiguracji, przejazdów kolejowych, semaforów i wskaźników. Te informacje serwer przechowuje w bazie danych, dzięki czemu możliwa jest realizacja głównego zadania serwera – wydawanie poprawnego Zezwolenia Na Jazdę. Przed wydaniem zezwolenia serwer sprawdza, czy pociąg może je otrzymać – walidacja obejmuje między innymi rejestrację pociągu,

jego pozycję i kierunek jazdy. Jeśli pociąg spełnia warunki do otrzymania Pozwolenia Na Jazdę, serwer formuje odpowiedni komunikat, uwzględniając w nim dozwolone prędkości na kolejnych odcinkach, gradienty torowiska, informacje o zmianach linii oraz ewentualne komunikaty tekstowe dla maszynisty. Poprawność działania tego mechanizmu została sprawdzona z wykorzystaniem opracowanego zestawu scenariuszy – dla utworzonego wycinka torowiska oraz pozycji pociągu określano oczekiwane Zezwolenie Na Jazdę, a następnie sprawdzano, czy dla danych warunków serwer zwracał oczekiwane wartości. Drugą odpowiedzialnością serwera jest reagowanie na zmiany w świecie Unity przed odbieraniem wiadomości z odpowiednich endpointów. W wypadku zmiany stanu semafora, rozjazdu lub przejazdu kolejowego, serwer identyfikuje pociągi, do których należy wysłać nowe Zezwolenie Na Jazdę, a następnie formuje nowe zezwolenia i wysyła je do aplikacji maszynisty. Także te funkcjonalności zostały pokryte odpowiednimi scenariuszami testowymi.

Aplikacja Unity zapewnia źródło danych dla aplikacji maszynisty oraz wizualizację podejmowanych przez nią decyzji. W ramach zaprojektowanego wycinka rzeczywistości, w aplikacji stworzono torowisko o długości niemal 15 kilometrów, z rozjazdami, przejazdem kolejowym, semaforami świetlnymi oraz balisami. Gdy pociąg w aplikacji najeżdża na zamocowaną przy torach balisę, aplikacja maszynisty jest informowana o nowej lokalizacji pociągu. Interfejs umożliwia sterowanie prędkością pociągu, jak również zmianę stanu elementów torowiska – semaforów, rozjazdów i przejazdu kolejowego. Dzięki temu możliwe jest testowanie zachowania systemu poprzez sprawdzenie reakcji na zmiany torowiska. Aplikacja spełniła więc założone zadania, umożliwiając testy i wizualizację zaimplementowanego systemu ETCS.

Po implementacji, komponenty systemu ETCS zostały szczegółowo przetestowane. Serwer ETCS został pokryty testami jednostkowymi i systemowymi, sprawdzającymi wyjścia systemu dla poszczególnych wejść i stanów wewnętrznych. Stworzono kilkanaście scenariuszy, dla których najpierw sformułowano oczekiwane wyniki, a następnie porównano je z wyjściami serwera. Wszystkie testy dały oczekiwane rezultaty. Przez ostatnie dwa tygodnie projektu przeprowadzano także testy manualne, aby upewnić się, że komunikacja między komponentami przebiega w zamierzony sposób.

3 ZAKOŃCZENIE

3.1 Wnioski

W wyniku prac udało się stworzyć kompletne środowisko testowe i prezentacyjne do uproszczonej wersji systemu ETCS, dostępnej na zasadach open source. Wierzymy, że jest to ważny krok w stronę popularyzacji i standaryzacji systemu, co przyczyni się do tańszych i szybszych podróży kolejowych. Standaryzacja ułatwi współpracę krajową i międzynarodową, wspierając rozwój innowacji i dalsze doskonalenie systemu. Otwarty kod i przeglądy ekspertów umożliwią wczesne wykrywanie luk bezpieczeństwa oraz identyfikację nieefektywnych procesów. System ETCS ma w sobie ogromny potencjał, a nasz system przyczyni się do jego rozwoju.

3.2 Przyszłe kierunki rozwoju

Jesteśmy świadomi, że projekt jest początkiem prac związanych z doskonaleniem i standaryzacją systemu ETCS. Z powodu krótkiego czasu projektu nie było szansy zaimplementować wszystkich funkcjonalności systemu. W przyszłości do aplikacji maszynisty planujemy dodać brakujące tryby, między innymi System Failure, występujący w przypadku awarii systemu. Z kolei serwer może zostać udoskonalony przez dodanie brakujących poleceń i komunikatów, na przykład Polecenia Awaryjnego Zatrzymania Pociągu, wysyłanego w sytuacjach awaryjnych. Dalszego rozwoju można też spodziewać się w wypadku aplikacji Unity, dla której przykładowe udoskonalenia obejmują dodanie większej liczby pociągów oraz możliwość modyfikacji mapy torowiska. Obecna wersja systemu stanowi więc znakomity punkt wyjściowy do rozwoju nowego, ustandaryzowanego i opartego na otwartym kodzie źródłowym systemu ETCS, który zrewolucjonizuje transport kolejowy.

4 BIBLIOGRAFIA

- [1] Specyfikacje systemu ETCS Europejskiej Agencji kolejowej
- [2] Wytyczne Europejskiej Agencji Kolejowej
- [3] Wytyczne Fińskiej Agencji Transportu
- [4] Kanał Youtube KrzysztofWaszkiewicz
- [5] Kanał Youtube PitkovaKolej
- [6] Kanał Youtube 85okN
- [7] Dokumentacja języka C#
- [8] Dokumentacja Microsoft Windows Forms
- [9] Dokumentacja Microsoft Aspnetcore 8.0
- [10] Dokumentacja Unity