

Distributed Online Training Simulation for Railway Dispatcher

Nuri Ozalp, Ahmet Basgoze, Ozdemir Kavak, Burcu Kalkan

TUBITAK BILGEM

Informatics and Information Security

Research Center

Kocaeli, Turkey 41470

Email: (nuri.ozalp, ahmet.basgoze, ozdemir.kavak, burcu.kalkan)@tubitak.gov.tr

Abstract—Computer Simulations can be considered as a powerful tools for learning such as analysing, designing, and interacting. Especially in the vital criticality level it has become more important tools such as train traffic simulation. The most important purpose of the train control system to prevent train collisions with other trains, keeping them in safe range.

The purpose of this study is to provide train traffic control in a distributed simulation system. The system consists of an instructor five students and a scenario-editor. The system use real train route model located in Turkey. During the simulation, dispatchers console can controls train traffic which have different size and speed in system. Success in educational outcomes can be measured. Instructor console make decisions about the organization of teaching and learning experiences, classroom management, and responses to individual students. The user is able to monitor and track the progress of five targeted students throughout the course of the simulation.

I. INTRODUCTION

Trenler tamaclkta ok nemli bir yere sahiptir. Tren trafi kontrol sistemleri ok kritik sistemlerdir. Tren trafiini ynetenlere dispeer denilmektedir. Dispeerin amalar trenleri gvenle ve zamannda varmas gereken hedeflere ulatrmaktr.

Anlk konum eski model trenlerde bilinmemektedir. Sinyalizasyon sistemleri sayesinde trenlerin yaklak konumlar 3km civarnda tahmin edilebilmektedir. Bu nedenle tren trafi kritik olmaktadır. Son yillarda dispeer eitim sefer saylann artmas ve tren yollarnn artmas ile daha da nem kazanmtr. Dispeerler gerek sistemde tecrübe edinmeleri uzun zaman almaktadr. Bu nedenle birok eitim simülasyonu gelitirilmitir. Zellikle kontrol merkezlerinde birden ok dipeerin birlikte almasından dolay datk yapl ve birden ok kullancı simülasyonlar nem kazanmtr. Bu sayede tek bir simülasyonda hazırlanan youn trafikli seneryo ile birden ok dispeerin birlikte tren trafi ynetmesi ve birok problemler baa kmas nem arz etmektedir.

Bu almada dispeerlerin youn trafiin olduu, hzlar ve trleri farkl olan trenlerin bulunduu ve sahada meydana gelebilecek problemlerin simle edildii birbirinden farkl seneryolar ile eitim almalar salanmtr. Bu sayede daha ksa srede alannda uzmanlaabilmesi hedeflenmitir. Gelitirilen simülasyon sistemi 5 modlden olummaktadır. Bunlar eitim, renci, seneryo editir vedeerlendirme modl ve tren graf modldr. Seneryo editir ile istenilen arazi hazırlanmakta ve istenilen btn kt koullar bu arazide oluturulmakta ve istedii kadar deiik konumlarda tren

ekleyebilmektedir. Eitim ister tek simülasyon isterse farkl 5 simülasyon ayn anda balatabilmekte ve simülasyonlara mdahile edebilmektedir. stedii zaman snapshot ile eitimde baz nemli grd yerleri tekrar tekrar pencilere tecrbe ettirebilmektedir. reciler yetkileri lsnde sorumlu olduu alanda tren trafiini ynetebilmek ve meydana gelen arzalarn zm iin almalar yapabilmektedir. Anlk tren hareketlerini ayn zamanda trengraf ile takip edebilmektedir. Eitim sonunda deerlendirme yapabilmekte ve yetitirilen dispeerin baars llebilmektedir.

2. blmde related wwork, 3. blmde sistemin nasl haberleme alt yaps hakknda bilgi verilmitir. 4. Blmde sisteme ait 5 modlden bahsedilmitir. 5. modlde yanlan deney hakknda bilgiler yer almaktadr. 6. blmde ise sonu ksmna yer verilmitir.

II. RELATED WORK

Tren trafiini yneten ve birden ok dispeerin eitim ald datk yapl simülasyonlar henz yaygn olarak kullanlmaktadr. Bizim yaptmz almaya benzer almalar bu blmde yer verilmitir.

In Middelkoop and his friend study is a simulator which which stands for Flexible Rail Infra Simulation of Operations (FRISO). It includes automatized a simulation model by using a connection to database, editor including generator functions and the possibility to perform single and multiple (stochastic) simulation experiments. FRISO models include following elements track layout, signalling system, route setting, and interlocking. Our system presents multiple screen of regions and to let five students to work at same or different simulation at the same time [1].

In Baohua and his friend's study is about multi-train simulator. It is able to do train performances assessment at the given railway lines, signal layouts optimization, energy-efficient operating strategies , in major terminals exploration of traffic bottlenecks, the evaluation of the reliability of scheduled timetables and train delay propagation. In multi-train simulation does these automatically, in our system dispatcher conduct them [2].

III. SYSTEM DESIGN

A. Simülasyon Yaam Dngs

RAYTES sistemi be bamsz simülasyon ortamn ezamanl ve birbirinden bamsz olarak yrtbilmektedir. Aadaki gsterilen ekil

1' deki yaam dngs bir simlasyon ortamn temsil etmektedir. Sistem ilk altrldnda IDLE durumda bulunmaktadır. Bir seny whole sisteme yklenerek simlasyon oturumu oluturulduunda LOADED durumuna gelir. Bu durumda simlasyon balangı saatinde beklemekte olup, almaya hazr haldedir. Simlasyon altrldnda RUNNING durumuna geer, simlasyon saati ilerlemekte, simle edilen nesneler zamana duyarl biimde ilenir, ve insan arayzlerinde sistem ile kullanclar aras etkileşim gereklennmektedir. PAUSE durumunda simlasyon saati ve simlasyon ileyler geici olarak durdurulur. PAUSE durumunda yine simlasyon RUNNING durumuna balyabilir. Simlasyon sonlandrldnda TERMINATED durumuna der ve simlasyon artk yeniden baatlamaz.

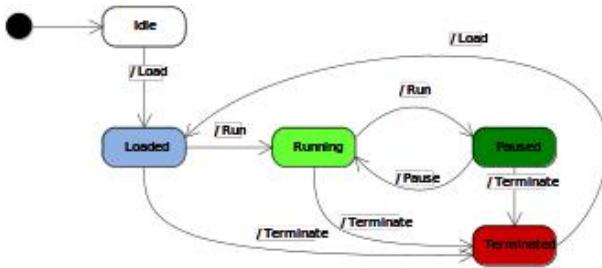


Fig. 1: Representation of Simulation Life cycle

B. Commuinication

1) *Simulation Message*: Simulation Message mesaj tr simlasyon sistemin st seviye kumanda ve kontrol mesajlama trdr. Bu mesajlar Eitmen Konsolunda retilmektedir ve sistemin dier bileenlerine gnderilmektedir. Simlasyonun yaratılması, duraklatılması, snapshot alınması, gibi temel simlasyon komutları iermektedir. Ayrca simlasyondaki sanal saha nesnelerinin durumlarna mdahale etmek amacyla bir takm zel mdahale komutları tanmlar. Mesaj komutları Tablo 1 de verilmektedir.

2) *Request Message*: RequestMessage mesaj tr Kontrol Merkezi Client (KMC) modlndn Kontrol Merkezi Sunucu (KMS) modlne gnderilen komutlar tamaktadır. KMC ve KMS arasndaki protokol client-server mimaris olup RequestMessage komutları istemci tarafın sunucu tarafndan hizmet istei olarak deerlendirilmektedir. RequestMessage komutları de listedenmektedir.

3) *State Message*: StateMessage mesajlar simlasyon almas esnasnda sanal saha daki tanml elemanların durum bilgilerinin ilettilmesi iin kullanılmaktadır. Kontrol Merkezi Sunucu (KMS) modl StateMessage kullanılarak Kontrol Merkezi Client (KMC) modlne saha bilgilerini gndermektedir. Kontrol Merkezi Sunucu ayriyetten saha grntleme ihtiyac duyan Geni Ekran Konsolu (GEK) ve Eitmen Saha Mdahale (ESM) modllerine de StateMessage vastasya bilgi gndermektedir.

4) *System Message*: SystemMessage mesajlar enci Kontrol Ynetimi (KY) ile Kontrol Merkezi Sunucu (KMS) modller aras kullanlan mesajlamadır. Bu mesaj tr enci kullanıcların eitim sistemine giri (login) salamakta kullanılmaktadır.

C. Modbus

Modbus otomasyon senayi evrelerinde kabul grm bir ham veri ileyim protokolu. Bu protokol client-server mantnda alp sistemler aras bit dizilerin sorgulanmas ve ileyilmesinde kullanılmaktadır. RAYTES projesinde Modbus paketler UDP/IP zerinden yazılm modlnden mode ileyilmektedir. Kontrol Merkezi Sunucu (KMS) modl, Anklaman Simlatır (AS) modl, Saha Simlatır (SS) modl ve Tren Simlatır (TS) modller aras komut ve bilge transferi Modbus paketler ile gereklmektedir.

D. SSY Simlasyon Sunucu Ynetim Modl

SSY yani Simlasyon Sunucu Ynetim modl simlasyon sistemi ierisindeki tm aktif modllerin bal olduu haberleme altyapsınn ve koordinasyonun saland modldr.ekil 2'de squance diagram ve ekil 3'de arayz gsterilmiştir. Simlasyon ak ierisinde dorudan bir grevle sorumlu tm aktif modller bu mode ya dorudan ya da altda altklar ana modl zerinden dolayl olarak bal olmak zorundadır. Simlasyonun almas ve hazırlanmas esnasnda gerekleen tm mesajlamalar bu modl zerinden gereklmektedir. SSY ayrıca sistemdeki aktif konsollar gibi kendi ierisindeki bilgileri uygun mesajlara karlk olarak dier konsollarla yada uygulamalarla paylaabilmektedir. SSY mesajlama amacyla tm sistem elemanları gibi SD yani Simlasyon Destek ve Mesajlaşma Modln kullanılmaktadır. Bu birim tm giri bilgilerini SD zerin almakta olup yine k bilgilerini de SD zerinden sisteme datmaktadır. SD bu SSY zerinde Mesaj Sunucu grevi ile tanmlanm olarak kullanılmaktadır. SSY zerine gelen herbir mesaj bir n kontrolden ileyerek mesaj ile ilgili yapmas gereken ileme karar verilir. SSY'nin bir mesaj zerine yapaca 4 iley vardır;

- Mesaj dorudan hedef ya da hedeflerine gndermek
- Mesaj tm aa yaynlamak
- Mesaj ierii SSY ile ilgili ise SSYden dorudan cevap mesaj yollamak
- Mesajın hiyerarik olarak gderilmesi gerekiyorsa bu hiyerarin salanmas

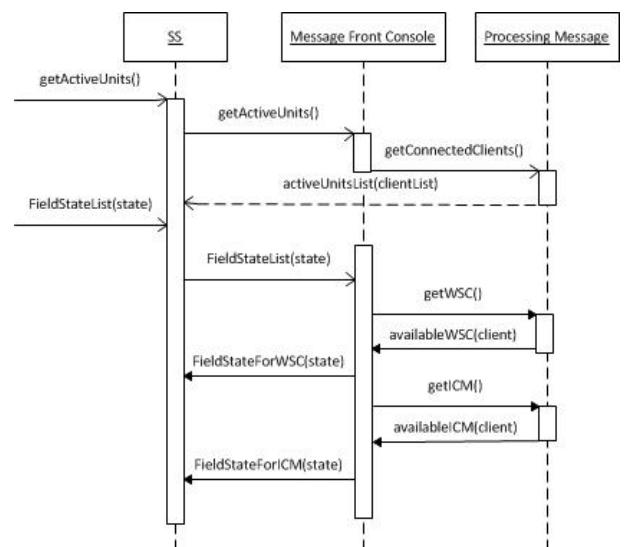


Fig. 2: Representation of SSY squance diagram

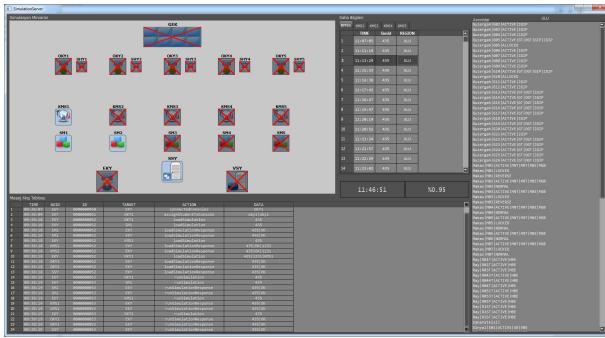


Fig. 3: Representation of SSY UI

Hiyerarik mesaj gnderimi bir mesajn, rnein simlasyon yklemeye mesajnn ncelik srasna gre her bir birime yollanmas anlamna gelmektedir. Sra ile yollanan her bir mesaj sonrasnda olumlu cevap gelmesi durumunda bir sonraki ilgili birime mesaj iletilir. Bu zincir bir noktada krlrsa sistem mesaj gnderen ilk birime olumsuz mesaj dndrr. Eer mesaj zinciri tamamlanrsa olumlu mesaj iletilir.

E. SM Simlasyon Motor Modl

1) *Snf Yaps:* Simlasyon Motoru (SM) modlndeeki ekil 4'de gsterilen ana snf SimMotor snfdr. Bu snf Config, XmlUtility, SahaEventList, FTSSimManager::FTSimMgr ve Communicator::Client snflar bnyesinde yaratp kullanmaktadır. FTSSimMgr Saha Trafik Simlasyon Ynetimi (FTS) modlnde tanmldr. SimMotor snf FTSSimMgr snfn salad arayz zerinden anklaman, saha ve trafik simlasyon modellerinde erimektedir. Communicator modlnde tanml Client snf ise SimMotor snfna SimulationMessage mesajlama arayz salamaktadr. SimMotorGui, SimMotor snfa debug ve test maksatl grafik pencere arayz salamaktadr.

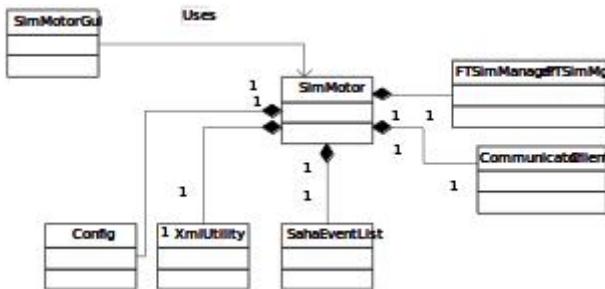


Fig. 4: Representation of SM class diagram

2) *Mesajlama:* Simlasyon Sunucu Ynetimi (SSY) ilk baladnda 5 adet bamsz Simlasyon Motoru (SM) proses yaratr. Bu SM prosesler sayesinde 5 bamsz simlasyon ezamanl olarak SSY tarafndan kontrol edilmesine olanak salar. SSY SimulasyonMessage tr mesajlar SM ye aktarmaktadr. Bu tr mesajlar, simlasyon ykle, simlasyon balat tarznda st seviye kontrol mesajlardr. SM bu mesajlar Saha Trafik Ynetimi (FTS) simlasyon modllerine iletmektedir. Simlasyon modl bu mesajlarn gerektirdii iemleri tamamladnda SMye yant (olumlu veya

olumsuz) vermektedir ve bu netice SSY ye geri bildirilmektedir. LoadSimulation mesaj genel rnek olarak ele alnrsa; bu mesaj SM tarafndan alndnd iki iem tetiklemektedir. Birincisi, senaryo da oynatmas gereken nceden programlanm olaylar veritabanndan okunuyor ve Saha Event List (SEL) listesine yklenmektedir. Bu olaylarn her biri bir Saha Event (SE) olarak tanmlanmtr. Kinci iem ise FTS ve onun bnyesindeki Saha Simlasyon (SS) modeli, Anklaman Simlasyon (AS) modeli ve Trafik Simlasyon (TS) modelini ilgili senaryonun teknik parametrelerini veritabanndan yklemesi ve simlasyon balatma durumu iin hazrlanmas. Simlasyon Running durumundayken SEL deki sralann SE olaylar simlasyon zamanna gre FTS modlne ilenmek iin aktarlmaktadr. Bu mekanizma bir senaryonun mdahalesiz olarak ilenmesini salamaktadr. Ancak bir simlasyon ayrca eitmen tarafndan mdahale edilmesine izin vermektedir. Eitim, Eitmen Saha Mdahale (ESM) arac kullanarak manuel Saha Event yaratabilir. Bu manuel olarak yaratlan SE olaylar SMye anlk olarak iletidiinde SE olay SEL listesinin bana eklemektedir ve bylelikle simlasyonun sonraki evriminde hemen ilenmesi salanmaktadır. Bnt bu ak ekil 5'deki diagramda gsterilmitir.

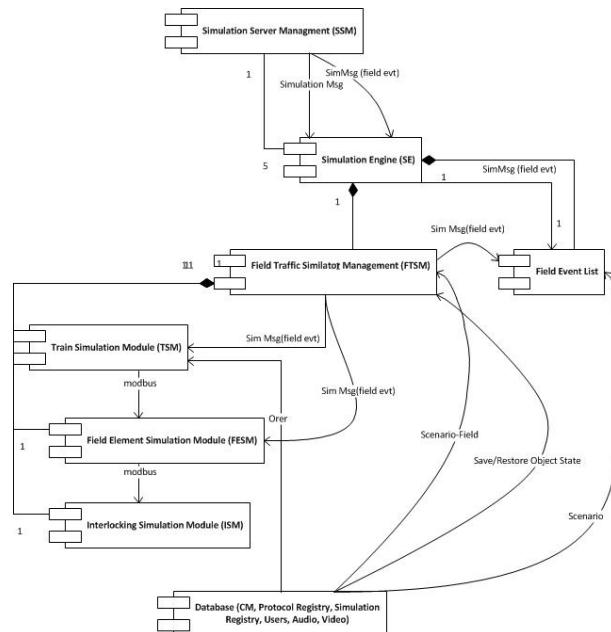


Fig. 5: Representation of SM Communication diagram

3) *SD Simlasyon Destek ve Mesajlama Modl:* ekil 6'de grld gibi Simlasyon Destek ve Mesajlama modl proje ierisinde birbirinden fiziksel olarak bamsz fakat haberleme ve etkileim iinde olan birimlerin birbirleri ile olan haberlemesini salamaktadr. Temel sunucu istemci mimarisini yerine kurulmu haberleme modl projeye zg balant kopuklulu kontrol, tekil balant zellii, XML tabanlı mesaj kontrol gibi zellikler eklenerek projeye zg protokol kurallar ervesinde tasarlanmtr. Mesajlama ve iletimi salayacak olan ana modl iki modda alabilemektedir. Bu modalardan ilki Server yani sunucu mod iken dier mod ise Client yani istemci modldr. Sunucu modda altrldnd da belirli bir

balat portu zerinden haberlemenin saland bu sistem modda dier yani stemci modda dier sistemlerin balanlmas beklenmektedir.

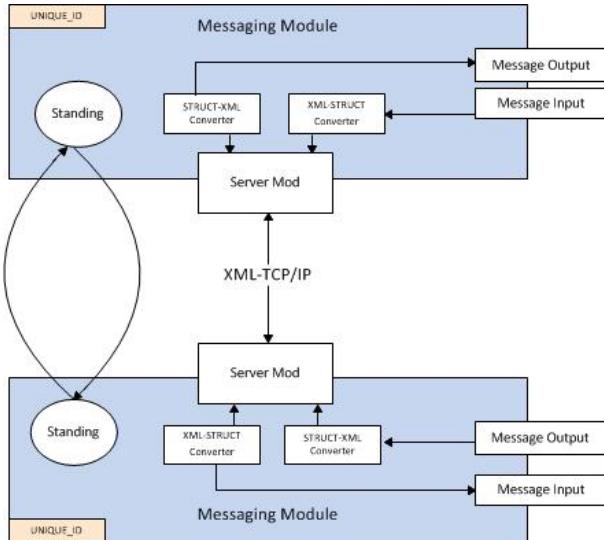


Fig. 6: Representation of SD diagram

stemci mod balant esnasnda hedef sunucu bilgilerini ve kendisini tantan tekil esiz bir ID ile eriimi salayacaktr. Bu balantlar esiz hale getirmek iin IP numaralar kullanlmayacaktr. nk ayn makina zerindeki farkl uygulamalar birbirlerile sunucu zerinden haberleme yeteneine sahip olmaldr. Ayn ID ile birden fazla eriim denemesi yapldndta sistem 2. sistemin balant denemesini Kullanmdaki bir ID ugarsyla reddedecektir. ekil 7'de grld gibi yine bir sunucuya bal olan tm istemciler o sunucuya periyodik olarak sunucuya bal olduklar yani ayakta olduklar bilgisini yollarlar. Ters adan bakldnda sunucu da kendisine bal olan tm istemcilere alr yani ayakta olduu bilgisini periyodik olarak bildirmektedir. Bu sayede sistemdeki tm elemanlarn balant kontrol gerekletirebilecektir.

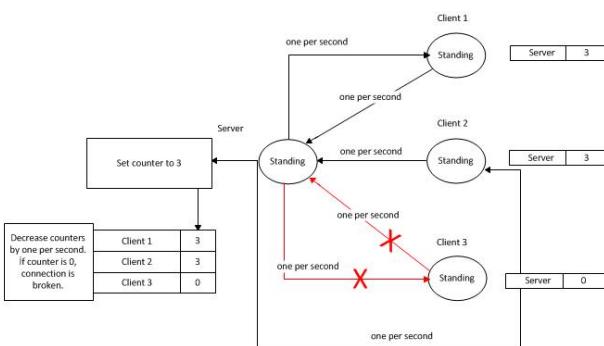


Fig. 7: Representation of SD diagram

IV. TRAINING ENVIRONMENT

A. K renci Konsolu

renci Konsolu (K) bir renci Bilgisayar (B) ve bir Sesli Haberleme Cihazndan (SHC) alt donanm bileenlerden olumaktadr. Knin yaps ekil ??'de gsterilmittir. renci Bilgisayar bilgisaya

yar kasa, fare, klavye ve LCD ekran donanmlardan olumaktadr. Bilgisayar zerinde Windows 7 iletim sistemi kuruludur. renci Konsol Ynetimi (KY) yazlm modl st seviye modl olup konsolunun genel ilevelerinden sorumludur. Dispeer arayz uygulamasn KM Client (KMC) modl gerekletiriyor. Ekranlarn video grnt kaytlar Video Kayt Altyap (VKA) modl tarafndan gerekletiriliyor. Sesli Haberleme Cihaz dispeerin sesli iletiimi salamak iin gerekli mikrofon, kulaklk veya telefon ahize ile donatlacaktr. zerinde alan Sesli Haberleme Yazlm Modl (SHY) eitim amalarna uygun biimde arama yapmay, aranmay destekleyecektir.



Fig. 8: Representation of Dispatcher Console

B. GEK Geni Ekran Konsolu

Geni Ekran Konsolu (GEK) bir Geni Ekran Bilgisayar nitesi (B) ve bir Geni Ekran Duvar nitesi (GD) donanm bileenlerden olumaktadr. GEKin yaps ekil 3 de gsterilmittir. Geni Ekran Bilgisayar nitesi (GB) ok kl ekran kart ile donatlm olup, her k Geni Ekran Duvar nitesinin birer ekranna baldr. Bilgisayar zerinde Geni Ekran Konsol Ynetimi (GKY) yazlm almaktadr. Bu yazlm Dispeer arayz uygulamas olan KM Client (KMC), Video Kayt Altyap (VKA) ve Video Geri Oynatma Arac (VGO) modllerin altrimas ve kontrol edilmesinden sorumludur. Sesli Haberleme Cihaz eitmenin sesli iletiimi salamak iin gerekli mikrofon, kulaklk veya telefon ahize ile donatlacaktr. zerinde alan Sesli Haberleme Yazlm Modl (SHY) eitim amalarna uygun biimde arama yapmay, aranmay destekleyecektir. ekil 13'de geni ekran ait deney sonucundaki ekran gnts grlmektedir.

C. Eitmen Konsolu

Eitmen Konsolu (EK) bir Eitmen Bilgisayar nitesi (EB) ve bir Geni Ekran Duvar nitesi (GD) donanm bileenlerden olumaktadr. EKnin yaps ekil 4 de gsterilmittir. Eitmen Bilgisayar nitesi (EB) kasa, fare, klavye ve LCD ekran donanmlardan olumaktadr. Bilgisayar zerinde Windows 7 iletim sistemi kuruludur. Bilgisayar zerinde Eitmen Konsol Ynetimi (EKY) yazlm almaktadr. Bu yazlm Eitmen Simlasyon Ynetim (ESY), Eitmen Saha Mdahale (ESM), ve Video Geri Oynatma (VGO) modllerin altrimas ve kontrol edilmesinden sorumludur. Geni Ekran Duvar nitesi (GD) iki satr drt stn dzenine gre yerletirilmi

8 LCD ekranlı grntleme duvardır. ekl 12'de eitmen paneli ile yapılan deneye ait ekran grnts yer almaktadır.

D. SS Simlasyon Sunucu nitesi

RAYTES projesinde tm mesajlama koordinasyonu sağlamak amacıyla Simlasyon Sunucu nitesi uygulaması kullanacaktr. Endstriel bir sunucu bilgisayarda koacak uygulama proje ekibi tarafından geliştirilecektir. Uygulamann temel ilevleri simlasyon bileenleri arasında mesajlama senkronizasyonunu ve koordinasyonu sağlamak, sistemin almasın tm mesaj akılarını grntlemek, simlasyon altyapsı oluturan dier sunucu taraflı bileenlerin ayaa kaldrlımasın sağlamak, simlasyon bileenlerin balant bilgilerini tutmak ve bunlar dier bileenlerle paylamak gibi grevlerdir. Simlasyon sisteminin tm aktif bileenleri Simlasyon sunucusuna dorudan ya da dolaylı olarak bulunacaktr.

E. Editr Analiz Konsolu

Editr Analiz Konsolu (EAK) bilgisayar kasa, fare, klavye ve LCD ekran donanmlardan olumaktadır. EAKnin yaps ekl 7 da gösterilmiştir. Bilgisayar üzerinde Windows 7 iletim sistemi kurulu olup Senaryo Editr Arac (SED), Performans Analiz Arac (PA), Kullancı Yonetim Arac (KYA), renci Eitim Kaytlar Arac (EK) ve Video Geri Oynatma Arac (VGO) yazılım modüller almaktadır. EAK simlasyon ncesi senaryoların hazırlanması, kullancların tanımlanması, ve simlasyon sonrası eitim performans analizi ve renci eitim kaytları incelemek için kullanılmaktadır. Dolaysyla bu konsol simlasyon eitimde deil off-line kullanılmaya yneliktir.

F. Train Graph

Raytes Projesi kapsamında geliştirilen Trengraf bileeni, tren hareket kaytları (TrainEvent) sorgulanarak grafik üzerinde eitim seenekler ile gösterimini sağlayan bir veri analiz aracıdır. 74 de rnek bir ekran grnti verilmiştir. Sorgu sonucunda trenlerin bloklardan gei hareketleri rahatlka izlenebilmektedir.

- Erinin solundaki izgi ile işaretlenmiş noktalar trenin bloklara giriini,
- Erinin sandaki izgi ile işaretlenmiş noktalar trenin bloklarından kn,
- ki izgi arasında kalan transparan boyal alan ise giri-k arasındaki zaman farkı, yani trenin o blokta ne kadar kaldı ifade etmektedir.

Bu seeneklerin hangilerinin gösterilececi kullanıcı tarafından seilebilmektedir. ekl 11'de tren grafa ait alırlan deney sonucunda ekran grnts göstermektedir.

V. EXPERIMENT RESULT

Gelitirdiimiz datk yapılmış 5 rencinin ayn anda eitim alabildii RAYTES projemizi 2 ekilde test ettik. Bunlardan ilki 20 tren ve tek simlasyon 5 kullanıcı yetkisi dahilinde 1 saatlik seneryoda eitim aldılar. Toplam RAM ve CPU kullanım ekl 9'de gösterilmiştir

Dier testimizde 1'er saatlik 5 ayrı simlasyon ve her simlasyona bir renci atandı. Bu ekilde eitim aldılar. Toplam RAM ve CPU kullanım ekl 10'de gösterilmiştir

Deneyler sonucunda elde edilen tren hareketlerini gösteren tren graf eklideki gibi olmaktadır.

	RAM(MB)	CPU(%)
Instructure	115	3
Simulation Server	34	1
Simulation Motor	134	3

Fig. 9: Tek simlasyon ve 5 farklı renci ile yapılan eitimde ait modellerin kaynak kullanımını göstermektedir

	RAM(MB)	CPU(%)
Instructure	364	3
Simulation Server	104	1
Simulation Motor	135*5=675	3*5=15

Fig. 10: 5 farklı simlasyon ve 5 farklı renci ile yapılan eitimde ait modellerin kaynak kullanımını göstermektedir

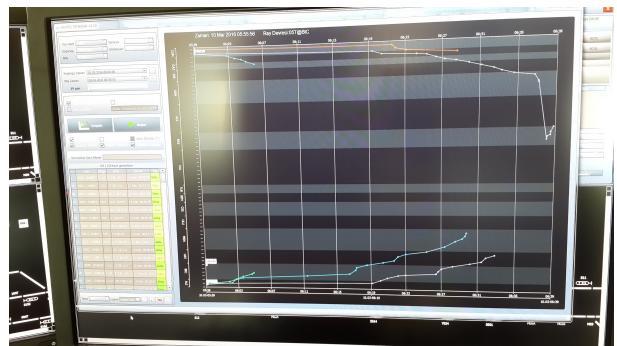


Fig. 11: Tren hareketlerinin gösterimi



Fig. 12: 5 farklı simlasyon ve 5 farklı renci ile yapılan eitimde ait modellerin kaynak kullanımını göstermektedir

VI. CONCLUSION

Computer Simulations can be considered as a powerful tools for learning such as analysing, designing, and interacting. Especially in the vital criticality level it has become more important tools such as train traffic simulation. The most important purpose of the train control system to prevent train collisions with other trains, keeping them in safe range.

The purpose of this study is to provide train traffic control in a distributed simulation system. The system consists of an instructor support five students and a scenario-editor. The system uses real train route model located in Turkey. During the simulation, dispatchers console can controls train traffic which



Fig. 13: 4 farkl kullancya ait ekran grntlerinin geni ekranda gsterimi

have different size and speed in system. Success in educational outcomes can be measured. Instructor console make decisions about the organization of teaching and learning experiences, classroom management, and responses to individual students. The user is able to monitor and track the progress of five targeted students throughout the course of the simulation.

ACKNOWLEDGMENT

This work has been conducted within Rail Transit systems Simulation Research Lab- project (project number 3920-S513000) for Turkish State Railways, which is part of the Rail Transit Systems research program funded by The National Research Institute of Electronics and Cryptology (TUBITAK BILGEM). We thank all project partners for their work and contributions to the project.

REFERENCES

- [1] A. D. Middelkoop and L. Loeve, Simulation of traffic management with FRISO, 2006, vol. 1, pp. 501509.
- [2] M. Baohua, J. Wenzheng, C. Shaokuan, and L. Jianfeng, A computer-aided multi-train simulator for rail traffic, in IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, 2007. ICVES, 2007, pp. 15.