

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**RAYLI SİSTEMLER İÇİN UYARLANMIŞ TELSİZ İLETİŞİM
PROTOKOL MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan VELİOĞLU

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama

MART 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**RAYLI SİSTEMLER İÇİN UYARLANMIŞ TELSİZ İLETİŞİM
PROTOKOL MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hakan VELİOĞLU
(705111005)**

İletişim Sistemleri Anabilim Dalı

Uydu Haberleşmesi ve Uzaktan Algılama

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selçuk PAKER

MART 2016

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 705111005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hakan VELİOĞLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**RAYLI SİSTEMLER İÇİN UYARLANMIŞ TELSİZ İLETİŞİM PROTOKOL MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selçuk PAKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mesut KARTAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dursun Zafer ŞEKER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **21 Mart 2016**
Savunma Tarihi : **30 Mart 2016**



ÖNSÖZ

Bu çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, çalışmamın yöneticisi Sayın Hocam Prof. Dr. Selçuk PAKER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Mart 2016

Hakan VELİOĞLU





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	3
2. OTOMATİK KİMLİKLENDİRME SİSTEMİ (AIS)	5
2.1 AIS Çalışma Yapısı.....	6
2.1.1 Alıcı verici cihaz tipleri	6
2.1.2 Çalışma frekansı	7
2.1.3 Mesaj yollama sıklığı	8
2.1.4 Zaman senkronizasyonu	9
2.1.5 Slot yapısı	11
2.1.5.1 Eğitim dizisi.....	12
2.1.5.2 Başlangıç bayrağı.....	12
2.1.5.3 Veri alanı	13
2.1.5.4 Çerçeve kontrol dizisi	13
2.1.5.5 Bitiş bayrağı.....	13
2.1.5.6 Tampon	13
2.1.6 Slot erişimi.....	14
3. RAYLI SİSTEMLER İÇİN VERİ MODELİ.....	19
3.1 Ortak Veri Modeli Bileşenleri	19
3.1.1 Mesaj tipi.....	19
3.1.2 Slot numarası	19
3.1.3 Bir sonraki slot numarası.....	20
3.1.4 GNSS konumu.....	21
3.2 Trenlere Özgü Veri Modeli Bileşenleri	21
3.2.1 Tren numarası	21
3.2.2 Tren türü	21
3.2.3 Lokomotif cinsi	23
3.2.4 Hız	23
3.2.5 Yön	23
3.2.6 İvme.....	23
3.2.7 Eğim	24

3.2.8 Uzunluk	24
3.2.9 Vagon sayısı.....	24
3.2.10 Aks sayısı.....	24
3.2.11 Ağırlık.....	25
3.3 Sabit Birimlere Özgü Veri Modeli Bileşenleri	25
3.3.1 Birim numarası	25
3.3.2 Birim tipi	26
3.3.3 Çakışma slot numarası.....	26
3.3.4 Birime özel bilgi	26
3.4 Acil Durum Mesajlarına Özgü Veri Modeli Bileşenleri	26
3.4.1 Yollayan kaynak tipi	27
3.4.2 Kaynak numarası	27
3.4.3 Acil mesaj kategorisi	27
3.4.4 Acil mesaj içeriği.....	27
4. ÇALIŞMA MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ	29
4.1 Çalışma Modeli	29
4.1.1 Dinleme aşaması.....	30
4.1.2 Boş slot seçimi.....	30
4.2 Sistemin Başarımı.....	32
4.2.1 Çakışma	32
4.2.2 Birim sayısı.....	35
4.2.3 Sinyal kapsama alanı	35
4.2.4 Gizli birim (hidden node)	36
4.2.5 Simülasyon	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ	47

KISALTMALAR

AIS	: Automatic Identification System
CSTDMA	: Carrier Sense TDMA
FATDMA	: Fixed Access TDMA
GMSK	: Gaussian Minimum Shift Keying
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HDLC	: High-Level Data Link Control
IMP	: Internation Maritime Organization
ITDMA	: Incremental TDMA
NRZI	: Non Return to Zero Inverted
RATDMA	: Random Access TDMA
SOTDMA	: Self-Organized TDMA
TDMA	: Time Division Multiple Access
UTC	: Coordinated Universal Time

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: MMSI ilk hanesine göre kullanıcı cihazları.	6
Çizelge 2.2: AIS çalışma prensipleri.	7
Çizelge 2.3: A Sınıfı AIS cihazı mesaj yollama aralığı.....	8
Çizelge 2.4: A Sınıfı olmayan AIS cihazlarının mesaj yollama aralığı.....	8
Çizelge 2.5: Raylı sistem taşımacılığında mesaj yollama aralığı. *: Trenin faaliyet dışında durması. Trenin operasyon esnasında istasyonda ya da makas beklerken durması durumları hariç.	9
Çizelge 2.6: AIS zaman senkronizasyon yolları.....	10
Çizelge 2.7: Şekil 2.3 de verilen zaman planının açıklamaları.	14
Çizelge 2.8: Bir slot içerisindeki bit dağılımı.....	15
Çizelge 3.1: Mesaj tipleri.(*: Bu mesaj tipi tez kapsamında ihtiyaç olmadığı için kullanım dışı tutulmuştur).....	19
Çizelge 3.2: Sabit birimlerin slot aralıkları	20
Çizelge 3.3: Tren mesajlarının veri modeli.	22
Çizelge 3.4: Sabit birim mesajlarının veri modeli.....	25
Çizelge 3.5: Acil durum mesajlarının veri modeli.	27
Çizelge 4.1: Sınır B değerleri için N adet birimin aynı anda sisteme girmesi durumunda slotların çakışmaması ihtimalleri.....	34
Çizelge 4.2: Trenlerin mesaj sıklıklarına göre kapsama alanında bulunabilecek teorik en çok birim sayısı.....	35
Çizelge 4.3: Simülasyon sonucu 10 trenin bulunduğu bir ortamda mesaj slotlarının ve bir sonraki slot bilgilerinin çakışma sayılarının ortalaması.....	39
Çizelge 4.4: Sınır değerlerin simülasyon sonuçları.....	41



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Tren hemzemin geçidi.	3
Şekil 2.1 : Kesişen iki deniz taşıtı.	5
Şekil 2.2 : Birim RF gücü açma kapama şeması.	11
Şekil 2.3 : Slot veri alanları ve zaman planı. Şekilde görüldüğü gibi A Biriminin gücü kapatma zamanı B Biriminin gücü açma zamanına taşmaktadır. Bu durum B biriminin eğitim bitlerine denk geleceği için veri iletiminde bir sıkıntıya sebep olmamakla birlikte çok nadiren radyo sinyallerindeki yayılım anormalliklerinden kaynaklanır.	12
Şekil 2.4 : NRZI öncesi ve sonrası sinyal durumu.	13
Şekil 2.5 : AIS Seçim aralığı. B: Boşta. K: Kendinden tahsisli. H: Haricen tahsisli. S: 222.240m içinde bir sabit birim tarafından kullanılan. D: Hareket halindeki başka bir birimin 3 dakikadır kullanmadığı. E: En uzaktaki birim tarafından kullanılan. X: Kullanılmaması gereken.	16
Şekil 2.6 : AIS'de kullanılan slot seçimi akış diyagramı.	17
Şekil 3.1 : Veri modelinin tüm mesaj tiplerinde ortak olan ilk 72 biti. A: Mesaj tipi. B: Slot numarası. C: Bir sonraki slot numarası. D: GNSS konumu.	21
Şekil 3.2 : Veri modelinin farklı mesaj tipleri için farklı verileri barındıran son 96 bitinin ölçekli çizimi. E: Tren numarası. F: Tren türü. G: Lokomotif cinsi. H: Lokomotif sayısı. I: Ray bilgisi. J: Hız. K: Yön. L: İvme. M: Eğim. N: Uzunluk. O: Vagon sayısı. P: Aks sayısı. R: Ağırlık. S: Birim numarası. T: Birim tipi. U: Çakışma slot numarası. V: Birime özel bilgi. W: Yollayan kaynak tipi. X: Kaynak numarası. Y: Acil mesaj kategorisi. Z: Acil mesaj içeriği. ...	28
Şekil 4.1 : Raylı taşımacılıkta boş slot seçim modeli.	31
Şekil 4.2 : Bir sonraki slot numarası seçimine dair akış diyagramı.	32
Şekil 4.3 : Gizli birim problemi. A, ray makası sabit birimini ve B, C, D, E de kesişen ray hatlarındaki tren birimlerini temsil etmektedir. Her bir çember 10km çapındaki sinyal kapsama alanını göstermektedir.	37



RAYLI SİSTEMLER İÇİN UYARLANMIŞ TELSİZ İLETİŞİM PROTOKOL MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ

ÖZET

Raylı sistemler, yük ve yolcu taşımacılığı anlamında günümüzde de popüler olmakla birlikte trenlerin de yük taşıma kapasiteleri ve bununla birlikte yolculuk hızları da zaman içinde ilerleme göstermektedir. Bu ilerlemeye karşın ray üstündeki taşıtların hareketlerini takip eden sistemlerse aynı ivme ile gelişim göstermediğinden günümüzde kullanılan tren takip sistemleri ray üstündeki bir taşıtın tam olarak konumunu verememekte ve bununla birlikte trenler de birbirlerinin konumunu bilememektedir.

Raylı sistem taşımacılığında taşıtlar belirli bir ray hattı üstünde hareket etseler bile farklı bir ray devresine geçecekleri zaman ray makasları öncesinde, trendeki makinistin ışıklı ya da elektro-mekanik sinyallere göre merkezden yönlendirilmesi ile trenin hareketi yönetilmektedir. Makinistin herhangi bir sebeple sinyali görememesi ya da sinyali yanlış yorumlaması durumunda çarpışma gibi istenmeyen sonuçların oluşması muhtemeldir.

Deniz taşımacılığında da taşıtların olumsuz hava koşulları ya da coğrafi şartlar neticesinde birbirlerini görememeleri durumlarına çözüm olarak kendi konum bilgilerini etraflarındaki gemilere otomatik olarak sürekli anons ettikleri bir sistem kullanılmaktadır. Bu sayede hareket halindeki bir gemi görüş alanı içerisinde olmasa bile etrafındaki diğer gemilerinin konumlarını ve hareket planlarını bilmekte ve kendi hareket planını da buna göre belirleyebilmektedir. Ayrıca belirli dinleme istasyonları ile kıyı emniyeti birimleri de gemileri takip edebilmektedir.

Tez çalışması ile raylı sistemler üstündeki taşıtların da konum ve hız gibi bilgilerini, bununla birlikte ray makası, hemzemin geçidi, ışıklı sinyal gibi sabit birimlerin de kendi konum ve durum bilgilerini; denizcilikte kullanılan model referans alınarak anons ettikleri bir model önerilmiştir.

Tez kapsamında önerilen modelin başarımını ölçmek içinde bilgisayarlı benzetim hazırlanarak gerçek yaşantıda karşılaşılmaması çok zor olan ortamlarda, önerilen modelin nasıl çalıştığı gözlemlenmiş ve modelin en olağan dışı ortamlarda bile verimli çalışabileceği görülmüştür.

Önerilen model içerisinde, trenlerde, istasyonlarda ya da ray elemanlarında olabilecek normal dışı durumlara karşı, diğer trenlerin haberdar olabilmesi ve buna göre acil durum ekiplerinin müdahale edebilmesi amacı ile düzenlemeler de dahil edilmiştir.

Önerilen model ile belirli bir ray hattında klasik sistemler ile güvenlik sebebi ile sadece tek bir tren hareket ettirilebilirken artık trenin anlık konum bilgisine ulaşılabilirdiği için birden fazla trenin çalıştırılması mümkün olabilmektedir. Ayrıca önerilen model içerisinde ki acil durum mesajlarıyla yapılacak kurtarma müdahalelerinin daha verimli olması da sağlanmaktadır.



MODIFIED WIRELESS COMMUNICATION PROTOCOL MODEL FOR RAILWAY SYSTEMS AND ITS PERFORMANCE ANALYSES

SUMMARY

Railway transportations popularity has been increasing since the early days. Carrying large amounts of load on railway is still an efficient method of transportation. Moreover, railway transportation is much more plannable according to highway transportation. And it is also a safer transportation because of using a certain path of railway. For all of these reasons using railway transportation is a good choice where geographic conditions allow to lay rails.

Railway construction is not increased as railway transportation needs. As a result of this, old railway lines should be used in an efficient manner with safety in mind. Kilometers of single rail line must be used in both directions and there is no fault tolerance here. In order to solve this problem a system named interlocking, which is an arrangement of signalling system that prevents conflicting movements through on a rail road or crossings. All the trains on a specific path are considered while building an interlocking plan thus, it is scheduled that which train will wait the other and where to wait and when to wait or go.

Train is guided by light signals or elector-mechanical signals by the central office according to interlocking table. Signalling equipments determine when the train engineer will stop or move the train. However, train engineer moves the train by assuming the rail scissors are positioned correct by the central office and does not even know whether the rail scissors are at the correct position or not. On the central office side they don't know the trains exact position. A trains position only be known while it is passing on axle counters or track circuits.

The logic behind train circuits is calculating the voltage difference between two rail line. Voltage is appliad to one rail line and when the train moves on that line it shortcircuits the other line. Receving the voltage on the other line means that there is a train on that prat of the track. Another method of track circuit is receiving the audio frequency signal given from one end of the rail which is based on the frequency shift of the signal at the other end. Ray circuits, said at least one train on the track but can not give an exact knowledge of the location information on the track.

The axle counters are special electronic circuits which are counting train axles passing over the switch circuits. In case of entering train axles and exiting train axles are equal, the central office assumes that train had left the field and the track is available for new trains. The important part of axle counters are how many bits are used for counters. For example if a train which has 256 axles passes over an 8 bit coded axle counter means no train passed over it and the circuit is empty which is an dangerous case. On the other hand axle counters doesn't give the speed information of trains.

While operating high-speed train traditional axle counters and ray circuits and visual signalling systems are useless. For this reason a wireless communication technology

which is based on GSM and named GSM-R has developed. GSM-R technology is used for voice transmission and also data transmission between central office and the train engineer but it has a severe capacity problem. When the number of trains increases the transmission could be delayed or blocked and this can be result dangerous situations because of high speed. Moreover, there is no protocol definition for transmitting position data of train. For this reason central office still does not know the exact location of train.

Despite the nowadays improved technology central offices still doesn't know the exact position or speed of railway vehicles or state of ray circuits and signalling lights. Moreover train engineers has no knowledge of the railway state or other trains location information which is not in engineers field of view. If a train has an emergency condition on railroad, central offices has no information of this situation and also other trains has no knowledge of the emergency case. For this reason we couldn't send more than one train to a single railway because of the security considerations. On the other hand, a train engineer obeys only the light signals and there is no other support systems. If the signal or circuit has broken the engineer has no chance to realize this. Moreover if some emergency situation happened to a train there is no fast and reliable way to know the exact speed or position of it and this increases the intervention time to train.

Watercrafts may not see each other because of adverse weather conditions or geographical conditions and this can also result unwanted accidents same as railway transportation. For this reason, all vessels are equipped with a device that broadcasts the navigational data continuously, so a ship could know the vessels around itself without the need of its crews visual view. Moreover, centers offices can also know positions of vessels by receiving stations which are positioned at coastline. This system is called AIS (Automatic Identification System) whose technical specification is developed by ITU (Internation Telecommunication Union) and protocol messages are managed by IMO (Internation Maritime Organization).

In the AIS system all vessels send its navigation information and GNSS position and receiving vessels determines its navigation with received information. All the vessels are free with their movement and AIS system has no direct access to ships navigation system.

In order to improve railway tracking and getting exact location or speed information of a train, getting position and state information of a rail switch, grade crossing or light signal, a new model whose design is referenced from AIS system is proposed in this thesis. Signal specifications are kept out of scope and assumed same as in the AIS model. So signal coverage calculations are same with AIS. Protocol definitions, message specifications and broadcast access algorithms are defined in the thesis. While TDMA (Time Division Multiple Access) channel access method is used, time synchronisation is also an important issue so it is also defined in the thesis.

After the protocol definitions explained, some key performance metrics such as message collisions are studied. Moreover, a computer simulation over GNU Octave was written to measure the performance metrics and it is found that the proposed model works well in extreme conditions like heavy loaded railway traffics or with high speed trains. This happens because of self correction methods and special roles for the ground units which are defined in the thesis.

The proposed system needs cheap hardware and could be used with existing solutions as a support system. While only one train can move a railway in the traditional system, multiple trains can be operated over a railway with the proposed system. The center office can get the realtime position of a vehicle and ground stations. Moreover, rescue operations can be made much more quickly and efficiently in the proposed system, because there is a special definition for emergency messages so head center can know where the emergent case occurs and also what the case is.

The proposed system has some parts to improve like security. Neither AIS nor the proposed system has a security definition and all signal sources are assumed legitimate. However an unwanted train signal could be broadcast as a malicious activity. This may have no harmful effect in open sea transportation but this may result much more dangerous situations in railway transportation.





1. GİRİŞ

Tren taşımacılığı ilk günlerinden bu güne popülerliğini arttırarak sürdürmektedir. Özellikle taşıma kapasitesinin yüksek olması, belirli bir rota üstünde gitmesinden ötürü güvenli olması ve karayolu taşımacılığına göre planlanabilir olması gibi sebepler tren rayı döşenebilen her türlü ortamda tren taşımacılığının tercih edilmesine sebep olmaktadır.

Tren taşımacılığına olan ilginin yeni ray hatlarının yapılmasından daha fazla olmasından ötürü var olan rayların, güvenlik göz önünde bulundurularak verimli bir şekilde kullanım gereksinimi doğmaktadır. Kilometrelerce süren tek bir ray hattının her iki yönde de kullanılması gerekmektedir ve burada hataya yer yoktur. Trenlerin iki konum arasında güvenli ve diğer trenler ile kesişmeden ilerlemesi için öncelikle anlaşılan olarak tanımlanan bir tasarım yapılması gerekir. Anlaşman yapılırken trenin güzergah içinde gidebileceği tüm yollar önceden hesaplanır ve ardından diğer trenlerin anlaşman bilgilerine bakılarak hangi ray devresinde bekleyeceği gibi zaman planları önceden yapılır.

Yapılan anlaşman tablosuna göre tren merkez tarafından ışıklı sinyaller ile yönlendirilir. Kondüktör ray üstündeki ışıklı sinyalleri takip ederek ne zaman duracağını ya da hareket edeceğini belirler. Bu hareketi esnasında ray makaslarının konumunun doğrudan bilemez ve merkez tarafından doğru konuma getirildiğini varsayarak hareket eder. Trenin makası geçip doğru raya girip girmediği de ray devreleri ve aks sayıcılar ile takip edilmektedir [1].

Ray devrelerinde mantık ray hattına uygulanan bir sinyalin ray hattı üstünde tren olması ve olmaması durumlarındaki farkına dayanarak trenin hatta olup olmadığı konusunda bir karara varmaktır. Rayın bir ucundan yollanan gerilime karşılık üstünde tren olması durumunda raylar arasında kısa devre oluşur ve bu da gerilim farkı yaratacaktır. Diğer bir yöntem de rayın bir ucundan ses frekansında verilen işaretin ray üstünde tren olması durumunda diğer uçta sinyalin frekansının kaymasına dayanmaktadır. Ray devreleri, ilgili hat üstünde en az bir adet tren olduğunu

belirtmektedir ama sayısı hakkında bir bilgi ya da ray üstündeki konumuna dair tam bir bilgi verememektedir.

Aks sayıcılar ise ray devrelerine giren ve çıkan tren akslarını sayan anahtar devrelerdir. Ray hattına giren ve çıkan aks sayısı eşit olması durumunda ray hattında tren yok olarak kabul edilir. Bu tür devrelerde dikkat edilmesi gereken nokta elde edilen sayının kaç bitle kodlandığıdır. Örneğin 8 bitle kodlama yapılması durumunda 256 akslı bir trenin geçmesi durumunda sistem ray hattına tren girmedi olarak kabul edecektir. Bir tren aks sayıcı üstünden geçtikten sonra yine o trenin konumu ya da hızı hakkında bir bilgi elde edilememektedir.

Yüksek Hızlı trenlerde görsel sinyalizasyon sistemleri ile makinistin treni yönetmesi mümkün olmayacağı için farklı olarak GSM protokolü temel alınarak GSM-R protokolü türetilmiştir. GSM-R protokolü, sinyalizasyon bilgilerinin trenlere iletilmesinde ve ses taşımacılığında kullanışlı olsa da protokolün kapasite problemleri bulunmaktadır [2] [3]. Çok sayıda aracın olduğu bir ortamda iletişimde kesintiler yaşanması muhtemeldir ve bu da tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Bunlara ek olarak protokol içerisinde trenlerin konum bilgilerini paylaşması gibi bir tanımlama da yoktur [4].

Raylı sistem taşımacılığı gelişmeye devam etse de güvenlik anlamında eskiden kullanılan teknolojilerle sistemin yürütülmesinden ötürü ne tren kumanda merkezinin ray devrelerindeki trenlerin anlık konum, hız gibi bilgilerine sahip olmadığı ne de raylı taşıtların birbirlerinin konum bilgilerine ya da ray makasları, hemzemin geçit gibi sabit birimlerin konum ve durum bilgilerine sahip olmadığı görülmektedir. Bu sebeple bir ray devresine aynı anda iki tren sokulamamakta ya da ray üstünde bir trenin arıza yapması durumundan hızlıca haberdar olunması mümkün olmamaktadır. Buna ek olarak bir makinist sadece ışıklı sinyallere uyarak treni hareket ettirmekte bu sinyalizasyonu tamamlayıcı bir destek sistem bulunmamakta dolayısı ile bir makasın yanlış pozisyonda olması durumunda makinistin bu durumu fark etmesi mümkün olmamaktadır. Ayrıca acil durumlarda trenin tam konumunun da bilinmemesi trene yapılacak müdahale süresini de uzatmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Giriş bölümünde anlatıldığı gibi raylı sistem üzerindeki tren takip sistemleri trenin anlık konumunu verememesi tren taşımacılığının hem verimli gelişmesini engellemekte hem de güvenliğini azaltmaktadır. Bu sebeplerle raylı taşımacılığı daha ucuz bir şekilde daha güvenli ve verimli hale getirmek adına deniz taşımacılığında kullanılan Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) modeli referans alınarak; trenlerin VHF telsiz haberleşmesini kullanarak konum bilgilerini paylaşabilecekleri bir haberleşme sistemi önermek ve önerilen sistemin başarımlarını analizini yapmaktır.



Şekil 1.1: Tren hemzemin geçidi.

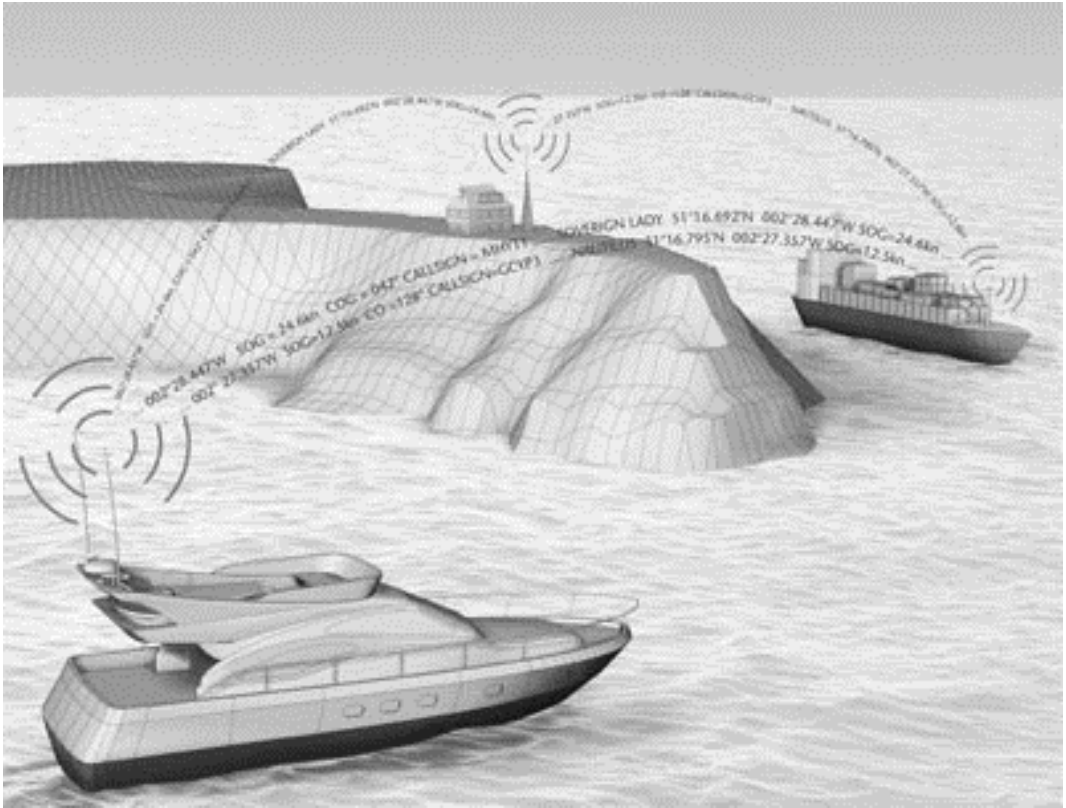
Tez kapsamında raylı sistem taşımacılığında kullanılabilecek şekilde özelleştirilmiş şekilde bir haberleşme sistemi önerilmektedir. Önerilen haberleşme sistemi içerisinde yollanması gereken veri şablonları anlatılacak olup haberleşme protokolü olarak zaman bölümlü çoklu erişim (Time Division Multiple Access – TDMA) teknolojisi kullanılacaktır. TDMA anlamında raylı taşıtların haberleşme sistemine veri yollama zamanlaması kapsamı içerisindedir.

Tez kapsamında kurgulanan haberleşmede şebeke modeli yoktur. Raylı taşıtların yarı çift yönlü olarak birbirleri arasında konum verisini TDMA mantığında paylaşması düşünülmüştür. Merkezi bir otoritenin raylı taşıtlardan veri alıp gerekli taşıtlara bu veriyi yönlendirmesi kapsam dışında tutulmuştur. Ayrıca sinayl modülasyonu da tez kapsamı dışında tutulmuştur.

2. OTOMATİK KİMLİKLENDİRME SİSTEMİ (AIS)

AIS (Automatic Identification System) deniz ulaşımında güvenliği sağlamak amacı ile Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO – International Maritime Organization) tarafından geliştirilen ve iletişim standartları ITU-R M.1371-5 ile tanımlı olan bir teknolojidir [5].

AIS teknolojisinde deniz taşıtlarının GNSS üstünden aldıkları konum ve geminin kendi seyrüsefer sistemlerinden gelen bilgilerini VHF bandında radyo dalgaları ile anons etmeleri prensibi üstüne kuruludur. Böylece sefer halindeki bir taşıt çevresindeki taşıtları göremese bile (bk. Şekil 2.1) konumlarını bilmekte ve buna göre kendi hareket planını belirlemektedir. AIS gemilerin hareket planlarına karışmayıp sadece bilgilendirme amaçlı çalışmaktadır. Raylı sistem taşımacılığında da model kurgulanırken sadece makinist ve komuta merkezinin araçlar hakkında yarı çift yönlü haberleşme ile bilgi sahibi olması amaçlanmaktadır.



Şekil 2.1: Kesişen iki deniz taşıtı.

AIS teknolojisi konum ve sefer bilgileri dışında ki mesajların da iletilmesine imkân sağlamaktadır. Kıyı denetleme birimleri de kendi denetleme bölgelerinde gemi trafiğini gözlemleyebilmektedir. Ayrıca acil durumlarda gemiler yardım sinyallerini AIS teknolojisi üstünden yayımlayabilmektedir. Ya da deniz yüzeyindeki şamandıralar konumlarını AIS üstünden yayımlayabilmektedir böylece gemiler şamandıraları görsel olarak göremeseler bile yerlerini bilip buna göre hareket edebilmektedir. AIS modelindeki acil durum mantığı ray üstünde de arıza yapan bir trenin kendi durumu hakkında diğer trenlere haber vermesi anlamında kullanılmış olup denizcilikte şamandıralarda kullanılan modelinde ray makasları gibi sabit birimlerin konum ve durum bilgilerinin paylaşılmasında örnek alınmıştır.

2.1 AIS Çalışma Yapısı

2.1.1 Alıcı verici cihaz tipleri

AIS teknolojisinde gemilerdeki alıcı vericiler iki ana sınıfa Sınıf A ve Sınıf B olarak ayrılır. Bu sınıfların dışında sadece dinleyici birimler, yüzen şamandıralar, çoklayıcılar ve arama kurtarma hava taşıtları için de özel tanımlar bulunmaktadır.

AIS teknolojisinde her bir geminin 9 haneli MMSI (Maritime Mobile Service Identity) bilgisi mesaj ile birlikte gönderilerek gemiler birbirlerinden ayırt edilmektedir. Buna ek olarak MMSI numarası üstünden mesajın geldiği kaynağın tipi de belirlenebilmektedir (bk. Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1: MMSI ilk hanesine göre kullanıcı cihazları.

MMSI ilk hanesi	Kullanıcısı
0	Belirli bir gemi grubu ya da kıyı istasyonu
1	Arama kurtarma hava taşıtları
2	Avrupa bölgesine ait gemiler
3	Kuzey Amerika ve Karayip bölgesine ait gemiler
4	Asya bölgesine ait gemiler
5	Okyanusya bölgesine ait gemiler
6	Afrika bölgesine ait gemiler
7	Güney Amerika bölgesine ait gemiler
8	El cihazları
9	Serbest cihazlar

A Sınıfı alıcı vericisi olan birimler SOTDMA teknolojisi ile çalışmaktadır. A sınıfı birim kullanan gemiler genelde büyük ticari gemilerdir. A sınıfı AIS cihazlarının tüm

AIS mesajlarını alması gerekir. A sınıfı AIS cihazlarının geminin seyrişefer sistemleri ile doğrudan bağlantısı olması gerekir.

B sınıfı alıcı verici bulunduran birimler genelde daha küçük deniz taşıtları olup cihazların A sınıfında olduğu kadar özelliği olması beklenmez. B sınıfı cihazlar da kendi içerisinde SOTDMA ile çalışan ya da CSTDMA ile çalışan olarak 2 alt dala ayrılmaktadır.

Raylı sistem taşımacılığında hafif metro trenleri, yük trenleri ya da hızlı tren olarak ağırlık ve hız bakımından farklı taşıtlar olsa da önerilecek sistemde yollanacak veri formatı sabit olduğu için herhangi bir sınıflandırmaya gerek görülmemiştir. Buna ek olarak önerilecek model veri yapısı içerisinde trenleri tanımlamak adına içerisinde MMSI gibi trenleri ayırt etmek adına raylı taşıtlar için 20 bitlik, sabit birimler için de 24 bitlik bir adresleme önerilmiştir.

2.1.2 Çalışma frekansı

AIS teknolojisi VHF bandında çalışmaktadır ve AIS alıcı vericileri hem 87B (161,975MHz) hem de 88B (162,025MHz) frekanslarını aynı anda dinlemektedir. AIS radyo yayınları ile 25Khz'lik kanal içinde HDLC (High Level Data Link Control) protokolüne uygun hazırlanan veri paketleri NRZI (Non Return to Zero Inverted) sinyal formuna çevrilip, GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) ile modüle edilerek taşınmaktadır. AIS haberleşmesinde Forward error correction, Interleaving ve Bit scrambling teknikleri kullanılmaz.

Çizelge 2.2: AIS çalışma prensipleri.

Parametre	Birim	Alt eşik	Üst eşik
AIS 1. varsayılan frekans	MHz	161,975	161,975
AIS 2. varsayılan frekans	MHz	162,025	162,025
Bölgesel frekanslar	MHz	156,025	162,025
Kanal bant genişliği	kHz	25	25
Bit hızı	bit/s	9600	9600
Eğitim dizisi	Bit	24	24
Modülasyon indeksi	a	0,5	0,5
Çıkış gücü (B Sınıfı SOTDMA)	W	1	5
Çıkış gücü	W	1	12,5

AIS teknolojisinde gerekli durumlarda AIS cihazlarının farklı frekanslarda da çalışma yeteneği olmalıdır. Örneğin yerel otorite tarafından belirli bir bölgede farklı bir frekans bandının kullanılması istenebilir.

Önerilecek sistemde veri haberleşmesinde AIS haberleşmesindeki gibi 25 kHz kanal bant genişliği içerisinde veri iletişim hızının da 9600bps olması önerilmiştir. Buna karşın veri iletişiminin VHF bandında olduğu varsayılsa da sinyalin nasıl modüle edileceği gibi radyo haberleşmesine dair konular tez kapsamına dâhil edilmemiştir.

2.1.3 Mesaj yollama sıklığı

AIS teknolojisinde mesaj yollama sıklıkları AIS cihaz sınıfına ve yollanacak olan mesaja göre sabit olmakla birlikte geminin hızına göre de değişim göstermekte, ya da acil durumlarda veya kıyı yönetiminden talep edilmesi durumunda 2 saniyeye kadar inmektedir.

Çizelge 2.3: A Sınıfı AIS cihazı mesaj yollama aralığı.

Geminin durumu	Beklenen mesaj yollama aralığı
Gemi bağlı yada demirlemiş ve hızı < 3 knot	3 dakika
Gemi bağlı yada demirlemiş ve hızı > 3 knot	10 saniye
Gemi hızı 0 - 14 knot	10 saniye
Gemi hızı 0 - 14 knot ve rota değiştiriyorsa	3 1/3 saniye
Gemi hızı 14 - 23 knot	6 saniye
Gemi hızı 14 - 23 knot ve rota değiştiriyorsa	2 saniye
Gemi hızı > 23 knot	2 saniye
Gemi hızı > 23 knot ve rota değiştiriyorsa	2 saniye

Çizelge 2.4: A Sınıfı olmayan AIS cihazlarının mesaj yollama aralığı.

Taşıtın durumu	Beklenen mesaj yollama aralığı
Sınıf B "SO" AIS ekipmanlı gemi, hızı < 2 knot	3 dakika
Sınıf B "SO" AIS ekipmanlı gemi, hızı 2 - 14 knot	30 saniye
Sınıf B "SO" AIS ekipmanlı gemi, hızı 14 - 23 knot	15 saniye
Sınıf B "SO" AIS ekipmanlı gemi, hızı > 23 knot	5 saniye
Sınıf B "CS" AIS ekipmanlı gemi, hızı < 2 knot	3 dakika
Sınıf B "CS" AIS ekipmanlı gemi, hızı > 2 knot	30 saniye
Arama kurtarma uçağı	10 saniye
Şamandıra	3 dakika

Raylı sistem taşımacılığı tasarlanırken en önemli durumun bir trenin acil durum pozisyonuna geçmesi olduğu varsayılarak bu durumdaki mesaj yollama sıklığı 1sn

mertebesine indirilmiştir. Bunun dışında park konumunda peronunda bekleyen bir trenin 3 AIS modelinde olduğu gibi 3 dakikada bir konum bilgisi yollaması düşünülmüştür. Raylı sistem taşımacılığında denizcilikten farklı olarak tek bir ray hattında sabit konumda hareket edilmektedir. Bu durumda ray hattındaki bir trenin tek yapabileceği kaçış manevrası durmaktır ki trenlerin durma performansını ağırlıkları belirlemektedir. Tez kapsamında tüm tipteki (yük treni, yolcu treni, yüksek hızlı tren) trenler kapsanacağı için hareket halindeki trenlerin fazlaca kaçış manevrası olmamasından ötürü konum bilgilerini denizcilikte kullanılan sürelerden daha kısa tutmanın daha güvenli olacağı varsayılmıştır.

Çizelge 2.5: Raylı sistem taşımacılığında mesaj yollama aralığı. *: Trenin faaliyet dışında durması. Trenin operasyon esnasında istasyonda ya da makas beklerken durması durumları hariç.

Mesaj kaynağı	Durum	Sıklık
Tren	Park halinde*	180sn
Tren	Hız: 0-15 km/h	10sn
Tren	Hız: 16-90 km/h	5sn
Tren	Hız: 91+ km/h	2sn
Sabit Birim	Tümü	10sn
Tümü	Acil Durum	1sn

2.1.4 Zaman senkronizasyonu

AIS teknolojisinde tüm birimler yayılım yayınları yapması için TDMA (Time Division Multiple Access) teknolojisi kullanılmaktadır. Bu teknoloji içinde AIS haberleşmesi için tüm birimler UTC (Coordinated Universal Time) ile doğrudan ya da dolaylı olarak senkronize olur ve UTC 1 dakikalık zaman dilimi bir frame (çerçeve) olarak adlandırılır ve bir çerçeve eş zamanlı olarak 2250 slota (oluk) bölünür. AIS mesajları bu slotlar içerisinde taşınmaktadır. Benzeri model raylı sistem taşımacılığında kullanılacak modelde de uygulanmıştır.

AIS birimlerinin haberleşmesinin birbirine karışmaması için zaman senkronizasyonu önemli bir konudur. Tüm AIS haberleşmesinde tek bir frame UTC dakikasında başlayıp bitmelidir. GNSS üstünden UTC zaman bilgisini direk olarak alan birimlerin zaman senkronizasyonlarında bu bilgiyi doğrudan kullanması beklenir.

Eğer bir birim GNSS ve benzeri yollarla UTC zaman bilgisini alamıyorsa ama UTC bilgisini direk alabilen başka bir birimin sinyalini alabiliyorsa bu durumda kendisini bu birime senkronize etmesi gerekir.

Eğer bir birim hem kendisi UTC bilgisine doğrudan ulaşamıyor hem de UTC bilgisine doğrudan ulaşan bir birimin sinyalini alamıyorsa; bu durumda zaman senkronizasyon yetkisi olan sabit bir birim ile senkronize olması gerekir.

Çizelge 2.6: AIS zaman senkronizasyon yolları.

Birim zaman senkronizasyon modu	Seçim önceliği	Birimin kendi senkronizasyon durumu	Başka birimlere senkronizasyon kaynağı olma durumu
Doğrudan GNSS ile UTC zamanı alıyorsa	1	0	Olur
UTC zaman bilgisini başka bir birimden alıyorsa	2	1	Olmaz
Zaman bilgisini başka bir sabit birimden alıyorsa	3	2	Olur
Zaman bilgisini başka bir sabit birime senkronize olan birimden alıyorsa	4	3	Olmaz
Zaman bilgisini senkronizasyon yetkisi olan bir birimden alıyorsa	5	3	Olmaz

Eğer bir birim hem UTC bilgisine doğrudan ve dolaylı olarak ulaşamıyor ve hem de zaman senkronizasyon yetkisi olan bir sabit birim sinyali de alamıyorsa bu durumda sabit birime senkronize olan bir birimin sinyali ile kendisini senkronize etmesi gerekir.

Eğer üstteki durumların hiçbiri ile zaman senkronizasyonu olmuyorsa zaman senkronizasyon yetkisi olan mobil bir birim ile senkronize olması beklenir.

TDMA veri haberleşmesinde senkronizasyon önemli bir konu olduğundan raylı sistemlere uygulanırken AIS modeline benzer bir zaman senkronizasyon modeli benimsenmiştir. Raylı sistem modelinde zaman senkronizasyonu aşağıdaki adımlara göre yapılır:

- Raylı bir taşıt GNSS üstünden zaman senkronizasyonu yapabildiği sürece sinyal zamanlamasında bu kaynağı kullanmalıdır.

- Eğer bir taşıt GNSS verisi alamıyorsa bu durumda sinyalini alabildiği sabit birim sinyallerine bakarak zaman senkronizasyonunu yapmalıdır.
- Eğer bir taşıt sabit birim verisi de bulamıyorsa bu durumda sinyalini alabildiği diğer raylı taşıtlardan birini senkronizasyon durumunda seçmelidir.

Deniz taşımacılığında mesafeler çok uzak olması ve bu sebeple zaman anlamında GNSS sinyali olmaması durumunda senkronize olunacak fazlaca seçenek bulunamamasından ötürü alternatif yolların sayısı fazladır. Raylı sisteme uyarladığımız modelde sabit birimlerin zaman senkron oldukları varsayıldığından ve ray üstünden sabit birimlerin sıklıkla var olduğu varsayımı ile AIS modelinde olduğu gibi mobil zaman senkronizasyon kaynakları düşünülmemiştir.

2.1.5 Slot yapısı

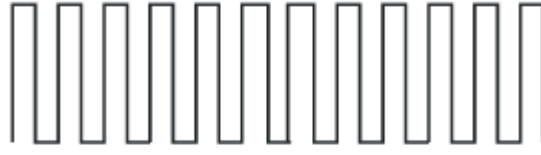
AIS haberleşmesinde 60 saniyelik bir frame 2250 adet 26,667ms uzunluğunda slotlara ayrılmıştır. Bir frame içerisindeki her slot 0-2249 indeks numarası ile tanımlanır ve birimler bu slotlar içerisinde mesajlarını gönderir. Slot içerisinde gönderilecek mesaj tipine ve büyüklüğüne göre ardışık en fazla 5 slota kadar çıkılabilir. Aynı bakış açısı raylı sistem taşımacılığında da kullanılmış olup sadece mesaj formatı hem trenler hem de sabit birimler için tek bir şablona oturtulmasından ötürü bir aracın mesajını tek bir slot içerisinde yollaması sağlanmıştır.

Sinyal yollayacak olan birim kendi slot sırasının başlangıcında RF gücünü açarak mesajını yollar ve bir sonraki slot başlamadan tampon alanında RF gücünü keser. Bk. Şekil 2.2



Şekil 2.2: Birim RF gücü açma kapama şeması.

Slot içerisinde yollanan veri alanları Şekil 2.3 de ve zaman planı Çizelge 2.8 de verilmiştir.



a) NRZI öncesi sinyal



b) NRZI sonrası sinyal

Şekil 2.4: NRZI öncesi ve sonrası sinyal durumu.

2.1.5.3 Veri alanı

Veri alanı 168 bit uzunluğundadır. 168 bitlik alandan daha uzun boyutlu mesajlar gerekmesi durumunda bir birim en fazla ardışık 5 slot kullanabilir. Bundan daha uzun veri yollanamaz.

2.1.5.4 Çerçeve kontrol dizisi

Çerçeve kontrol dizisi 16 bitlik CRC (Cyclic Redundancy Check) tekniği ile sadece veri bitlerinin sağlamasını barındırır. Böylece bir birim aldığı veri bitlerinin bozulup bozulmadığını kontrol edebilir.

2.1.5.5 Bitiş bayrağı

Bitiş bayrağı 8 bit uzunluğunda olup başlangıç bayrağı ile tamamen aynı özellikleri barındırmaktadır.

2.1.5.6 Tampon

Tampon alanı normal koşullarda 24 bit uzunluğunda olup bit stuffing, gecikme, senkronizasyon kayması hatalarını gidermek için kullanılır.

Bit stuffing için güvenlik mesajları ve ikili mesajlar dışında kullanılır ve 4 bit uzunluğundadır. NRZI kodlanmış bir sinyal için ardışık 1 dizisi gelmesi durumunda sinyal değişimi olmaması alıcı verici arasındaki senkronizasyonu bozabilir. Bu sebeple

Çizelge 2.7: Şekil 2.3 de verilen zaman planının açıklamaları.

Şekil 3 deki T(n)	Zaman (ms)	Slot durumu	Açıklama
T0	0	Slot başı	Slot başlangıcı. RF gücü başlangıcı.
T(TS)	0,833	Eğitim dizisi	Eğitim dizisi sinyalinin yollanmaya başlanması.
T1	1,000	Eğitim dizisi	RF gücünün \geq %80 olması.
T2	3,333	Başlangıç bayrağı	Veri paketinin başlangıcını temsil eden bayrak. Eğer UTC zaman senkronizasyonu koparsa bu bayrak senkronizasyonda kullanılır.
T(S)	4,167	Veri	Veri iletiminin başlangıcı.
T3	24,167	Tampon	Veri iletiminin bittiği yer. Bu aşamadan sonra modülasyon yapılmaz. Eğer veri bloğu küçükse bu iletim daha erken bitebilir.
T4	T3 + 1,000	Tampon	RF gücünün kesildiği an.
T5	26,667	Slot sonu	Slot sonu. Bir sonraki birimin slot başı.

ardışık her 11111 dizisi için verici bir 0 biti ekler ve alıcılar da buna uygun davranarak sinyali hatasız alabilir. AIS istatistiksel analizlerine göre bir AIS mesajlarının

Mesaj gecikmesinden kaynaklı zaman kaymaları içinde 14 bitlik bir tampon bırakılmış olup bu durum yaklaşık 222m'lik bir yayılım alanında gecikme koruması sağlamaktadır.

Son olarak Tampon alanında 6 bitlik senkronizasyon kayma koruması bulunmaktadır. Normalde AIS haberleşmesinde zaman kaymasının $\pm 104\mu s$ olması beklenir. Fakat birimlerin birbirlerine senkronize olmaları durumunda toplamsal bir zaman kayması hatası oluşacağı için beklenen en yüksek zaman kaymasının $\pm 312\mu s$ olmasıdır. Sabit birimler için ise bu değer $\pm 104\mu s$ olması gerekir.

2.1.6 Slot erişimi

Bir AIS birimi ilk açıldığında ağa dahil olmadan önce 1 dakika boyunca sadece dinleme modunda çalışarak etraftaki gemileri, sabit birimleri, zaman senkronizasyon durumunu ve slot kullanım haritasını çıkarmalıdır. Slot kullanım haritasını bir arka plan işi olarak AIS cihazları sürekli olarak yapmaktadır. Bu aşamadan sonra elde ettiği bilgilerle göndermesi gereken mesajları yollamalıdır.

Bir slot aşağıdaki şu durumlarda olabilir:

Çizelge 2.8: Bir slot içerisindeki bit dağılımı.

Durum	Bit sayısı	Açıklama
RF gücü açılışı	8	Şekil 3 deki T0'dan T(TS) aralığı
Eğitim dizisi	24	Slot içi senkronizasyon için gerekli
Başlangıç bayrağı	8	HDLC protokolü başlangıç bayrağı
Veri	168	NRZI kodlanmış ve bit stuffing uygulanmış veri bloğu
Çerçeve kontrol dizisi	16	HDLC protokolüne uygun
Bitiş bayrağı	8	HDLC protokolü bitiş bayrağı
Tampon (Bit stuffing)	4	Güvenlik ve ikili (binary) mesajlar hariç.
Tampon (Gecikme)	14	222km'lik alan içinde gecikme koruması
Tampon (Senkronizasyon kayması)	6	$\pm 312\mu s$ zaman kaymasına karşı koruma
Toplam	256	

- Boşta: İlgili slot alıcı birimin kapsama alanında kullanılmamış demektir. Harici olarak bir birime tahsis edilmiş ama arka arkaya 3 çerçevedir kullanılmamış slotlarda Boşta sayılır.
- Kendinden tahsisli: Birim tarafından kullanılmak üzere tahsis edilen slot.
- Haricen tahsisli: Başka bir birim tarafından kullanılmak üzere tahsis edilen slot.
- Uygun: Başka bir birim tarafından tahsis edilen ama tekrar kullanılmaya uygun slot.
- Uygun Olmayan: Başka bir birim tarafından kullanılan ama tekrar kullanılmaya uygun olmayan slot.

Bir AIS biriminin ağa dahil olması 4 farklı kanal erişim modu ile gerçekleşir. Bunlar:

- SOTDMA (Self Organized TDMA)
- ITDMA (Incremental TDMA)
- RATDMA (Random Access TDMA)
- FATDMA (Fixed Access TDMA)

AIS birimi kullanacağı kanal erişim moduna uygun bir slot seçim aralığı içerisinde aday erişim slotlarını belirler ve mesaj yollamak için bu aday slotlardan birini rastgele

kullanır. AIS standardında birimin elinde seçim aralığı içerisinde en az 4 aday slot olması gerekir. Normalde aday slotların Boş slotlardan seçilmesi gerekir ama özel durumlarda Uygun slotlarda aday slot olarak kullanılabilir. Eğer birimin seçim aralığı içerisinde hiçbir aday slot bulamazsa bir sonraki seçim aralığına kadar beklemesi gerekir.

Uygun slotlardan aday slot olarak kullanması için birimin sırası ile aşağıdaki slot tekrar kullanım kurallarını uygulaması gerekir.

- Kural 1: Seçim yapılan AIS kanalında Boşta olup diğer kanalda Uygun durumunda olan
- Kural 2: Seçim yapılan ASI kanalında Uygun konumunda olup diğer kanalda Boşta olan
- Kural 3: Her iki ASI kanalında da Uygun konumunda olan
- Kural 4: Seçim yapılan AIS kanalında Boşta olup diğer kanalda Uygun Olmayan
- Kural 5: Seçim yapılan kanalda Uygun olup diğer kanalda Uygun Olmayan

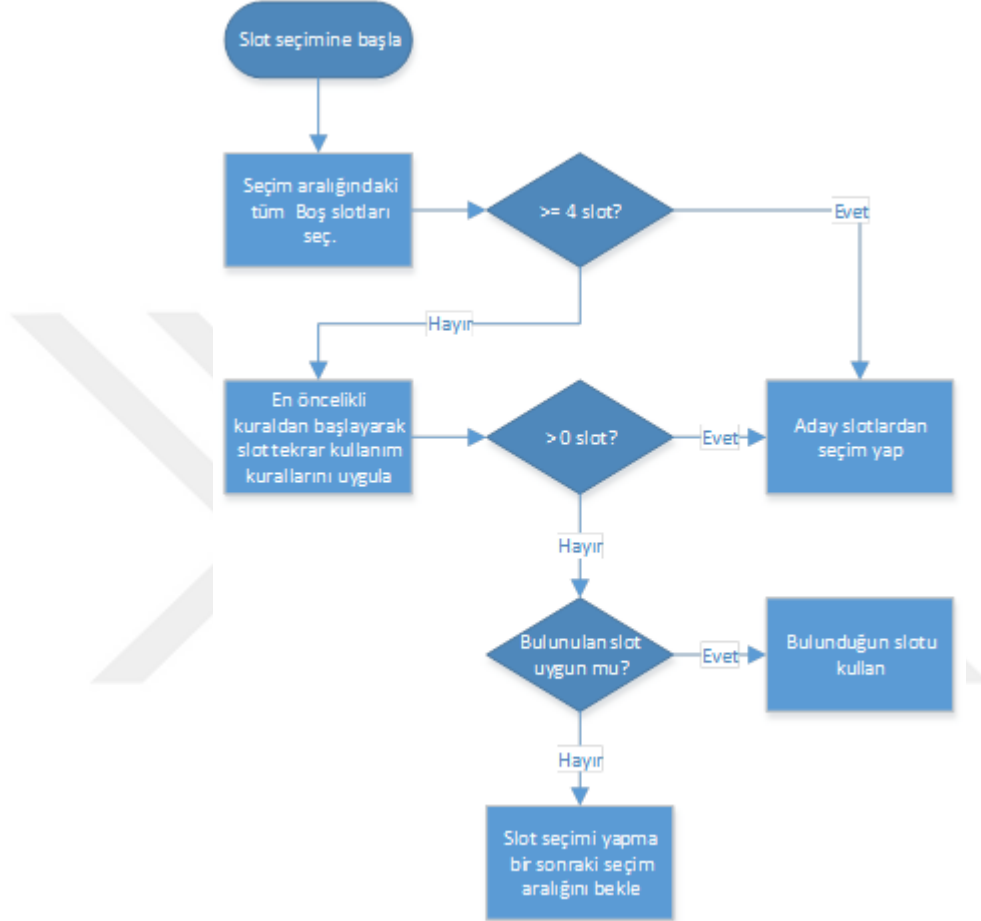
Şekil 2.5 de verilen seçim aralığı içerisinde aday slot seçimi yapılması durumunda en yüksek öncelikliden en düşük öncelikliye doğru sırası ile 1, 2, 5, 6, 3, 4, 7 çıkar.

		Seçim Aralığı											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AIS Seçim Kanalı (A)		B	B	B	B	D	D	E	B	X	X	X	S
		B	D	E	H	B	D	B	S	B	K	B	B

Şekil 2.5: AIS Seçim aralığı. B: Boşta. K: Kendinden tahsisli. H: Haricen tahsisli. S: 222.240m içinde bir sabit birim tarafından kullanılan. D: Hareket halindeki başka bir birimin 3 dakikadır kullanmadığı. E: En uzaktaki birim tarafından kullanılan. X: Kullanılmaması gereken

Slot erişim modeli raylı sistem taşımacılığına uygulanırken bazı değişiklikler planladı. AIS modelinde olduğu gibi raylı sistemlerde de cihaz çalışmaya başladığında öncelikle 1 UTC dakikası boyunca ağı dinlemesi ve var olan diğer sabit birim ve araçların bilgisini alıp slot kullanım durumlarının haritasını çıkarması beklenir. Bu haritaya bakarak uygun olan slot zamanında mesajını yollayarak bir sonraki mesaj yollayacağı slot numarasını da yollaması gerekir.

Denizcilikte kullanılan AIS modelinde çok farklı veri tipleri olması ve bunların da bir slottan fazla sürmesi durumlarından ötürü slot erişim modeli daha gelişmiş yapıdadır. Buna karşın raylı sistemlerde yollanacak mesaj süreleri periyodik ve yollanacak mesaj da tek slotluk sabit bir şablonda olmasından ötürü daha sade bir model bölüm 4 içerisinde önerilmiştir.



Şekil 2.6: AIS’de kullanılan slot seçimi akış diyagramı.



3. RAYLI SİSTEMLER İÇİN VERİ MODELİ

AIS modelinde olduğu gibi raylı sistemlerde de iletilecek veri boyutu 168 bit olarak alınmış olup bu alanda iletilecek veri modelleri trenler, sabit birimler ve acil durum mesajları için ayrı ayrı tanımlanmıştır.

Tüm veri modellerinde Mesaj tipi, Slot no, Bir sonraki slot no ve GNSS konumu bilgileri ortaktır. Bu bilgilerin tüm veri modelleri içerisinde bulunması gerekir.

3.1 Ortak Veri Modeli Bileşenleri

3.1.1 Mesaj tipi

Bu alan 2 bit uzunluğunda olup mesaj kaynağının tren, sabit birim ya da iletilen mesajın acil durum mesajı olup olmadığının anlaşılmasını sağlar.

Çizelge 3.1: Mesaj tipleri. (*: Bu mesaj tipi tez kapsamında ihtiyaç olmadığı için kullanım dışı tutulmuştur)

Mesaj tipi	Açıklaması
00	Tren mesajı
01	Sabit birim mesajı
10	Kullanım dışı*
11	Acil durum mesajı

3.1.2 Slot numarası

Bu alan 12 bit uzunluğunda, 0 ila 2249 aralığında bir değer alıp, mesajı yollayan birimin mesajı yolladığı slot numarası bilgisini barındırır. Diğer birimler bu bilgiye bakarak zaman haberleşme zamanlamasına uyum sağlarlar.

Sabit birimlerin konumlamaları dikkatle yapılmalıdır çünkü her UTC saniyesinin ilk 7 slotu sabit birimlerin kullanımı için ayrılmıştır yani trenler bu slotları kullanmazlar. Çizelge 3.2 ile sabit birimlere tanımlanan slot aralıkları belirtilmiştir.

3.1.3 Bir sonraki slot numarası

Bu alan 12 bit uzunluğunda olup mesaj yollayacak olan birimin bir sonraki beklenen mesaj yollama zamanını verir. Bu bilgiyi alan diğer birimler ilgili slotu kendi boş slot tablolarında kullanımda olarak işaretleyerek kendi kullanımları dışında tutarlar.

Çizelge 3.2: Sabit birimlerin slot aralıkları

UTC saniyesi	Aralık başlangıç numarası	Aralık bitiş numarası	UTC saniyesi	Aralık başlangıç numarası	Aralık bitiş numarası
0	0	6	30	1125	1131
1	38	44	31	1163	1169
2	75	81	32	1200	1206
3	113	119	33	1238	1244
4	150	156	34	1275	1281
5	188	194	35	1313	1319
6	225	231	36	1350	1356
7	263	269	37	1388	1394
8	300	306	38	1425	1431
9	338	344	39	1463	1469
10	375	381	40	1500	1506
11	413	419	41	1538	1544
12	450	456	42	1575	1581
13	488	494	43	1613	1619
14	525	531	44	1650	1656
15	563	569	45	1688	1694
16	600	606	46	1725	1731
17	638	644	47	1763	1769
18	675	681	48	1800	1806
19	713	719	49	1838	1844
20	750	756	50	1875	1881
21	788	794	51	1913	1919
22	825	831	52	1950	1956
23	863	869	53	1988	1994
24	900	906	54	2025	2031
25	938	944	55	2063	2069
26	975	981	56	2100	2106
27	1013	1019	57	2138	2144
28	1050	1056	58	2175	2181
29	1088	1094	59	2213	2219

Eğer birimin yollayacağı mesaj zamanı 60 saniye ve daha fazla bir süre sonrasında gösteriyorsa bu durumda birim “111000000001” bit dizisini yollar. Eğer birim

AIS cihazını kapatacak ve bir daha mesaj yollamayacağını belirtecekse bu durumda “111001100110” bit dizisini yollamalıdır.

3.1.4 GNSS konumu

Bu alan 46 bit uzunluğunda olup tren lokomotifinin burun konumunu ya da sabit birimin konum bilgisini verir. Enlem boylam anlamında 23.45833° E ; 48.8583° N veri yapısına uygun olarak [8bit.14bit^o 1bit ; 8bit.14bit^o 1bit] şeklinde bir format kullanılmıştır.

	72 bit			
Tren	A	B	C	D
Sabit birim	A	B	C	D
Acil durum	A	B	C	D

Şekil 3.1: Veri modelinin tüm mesaj tiplerinde ortak olan ilk 72 biti. A: Mesaj tipi. B: Slot numarası. C: Bir sonraki slot numarası. D: GNSS konumu

3.2 Trenlere Özgü Veri Modeli Bileşenleri

Trenlerin hareket hızlarına bağlı olarak veri yollama sıklıkları Çizelge 2.5 üstünde tanımlanmış olup trenin yollaması gereken veri modeli de Çizelge 3.2 ile gösterilmiştir.

3.2.1 Tren numarası

Bu alanda 9 bit ile her hattaki sefere ait tanımlanan numarayı barındırır. Numaralandırma yapılırken tekillik sadece tren numarasından gelmez. Tren numarası ile birlikte Tren türü bilgisi de hat üstündeki tren için ayırt ediciliği sağlamaktadır.

3.2.2 Tren türü

Bu alan 5 bit ile kodlanmaktadır ve hat üstünden çalışan trenin türünü belirler. Bilinen tren türleri [6]:

- Yolcu trenleri
 - Banliyö
 - Süper Ekspres (ara gar ve istasyonda durdurulmaz)
 - Mavi trenler

Çizelge 3.3: Tren mesajlarının veri modeli.

Tren	
İletilecek bilgi	Veri boyutu(bit)
Mesaj tipi	2
Slot numarası	12
Bir sonraki slot numarası	12
GNSS konumu	46
Tren numarası	9
Tren türü	5
Lokomotif cinsi	4
Lomokotif sayısı	4
Ray bilgisi	7
Hız	10
Yön	1
İvme	4
Eğim	5
Uzunluk	13
Vagon sayısı	10
Aks sayısı	11
Ağırlık (10 ton)	13
Toplam	168

- Ekspresler
- Ray otobüsü
- Yolcu treni
- Karma
- Özel yolcu (orer de gösterilmez)
- Yük trenleri
 - Ekspres (her istasyonda durmaz, manevra yaptırılmaz)
 - Blok yük (ara gar ya da istasyonda durdurulmaz, manevra yaptırılmaz)
 - Bölgesel hızlı (Belirli yerler dışında durmayan, manevra yaptırılmaz)
 - Yavaş yük (istasyon durabilir, manevra yapabilir)
 - Özel yük (orer de gösterilmez)

- Hizmet trenleri
 - Tek lokomotifler (en fazla 2 vagon dan oluşur)
 - İmdat lokomotifi
 - İş treni

3.2.3 Lokomotif cinsi

Bu alan 4 bit ile kodlanır ve treni çeken en öndeki ana lokomotifin bilgisini taşır.

- Elektrikli
- Dizel
- Buharlı

3.2.4 Hız

Bu alan 10 bit ile kodlanır km/saat cinsinden trenin hız bilgisini barındırır. Bu alan hızlı trenleri de kapsaması için 0-1024 km/saat hızı kapsayacak nitelikte düşünülmüştür.

3.2.5 Yön

Bu alan 1 bit ile kodlanır ve trenin lokomotif yönünde (ileri) ya da tersi yönde gitmesi durumunu belirtir.

3.2.6 İvme

Bu alan 5 bit ile kodlanır. Kodlamamanın ilk biti (en anlamlı biti) ivmenin yönünü verir. 1 olması durumunda (+) yani trenin gidiş yönünde bir ivme 0 ise trenin yavaşlaması yönünde frenleme anlamında bir ivme bilgisi olduğunu sunar. Geri kalan 4 bit ile sayısal olarak m/s² cinsinde ivme bilgisi yayınlanır.

- Eğer bir tren lokomotif yönünde giderken hızlanıyorsa ivmenin en anlamlı (ilk) biti 1
- Eğer bir tren lokomotif yönünde giderken yavaşlıyorsa ivmenin en anlamlı (ilk) biti 0

- Eğer bir tren lokomotifin ters yönünde giderken hızlanıyorsa ivmenin en anlamlı (ilk) biti 1
- Eğer bir tren lokomotifin ters yönünde giderken yavaşlıyorsa ivmenin en anlamlı (ilk) biti 0

3.2.7 Eğim

Bu alan 5 bit ile kodlanmış olup kodlamanın ilk biti (en anlamlı biti) eğimin yönünü verir. Geri kalan 4 bit ile eğim miktarı yüzdelik dilimde tanımlanır. En anlamlı bitin 1 olması pozitif (yokuş yukarı), 0 olması negatif (yokuş aşıağı) eğimi tanımlar. Kısaca eğim bilgisi -15% ile +15% aralığında değişir ve eğim olmaması durumunda en anlamlı bitin değeri önem arz etmez.

3.2.8 Uzunluk

Bu alan 13 bit ile kodlanır ve metre cinsinden lokomotifin en ucundan trenin son vagonunun en sonuna kadar olan uzunluk bilgisidir. Trene vagonlar bağlandıktan sonra bu bilgi makinist tarafından sisteme tanımlanmalıdır.

Bu bilgi ile trenin lokomotifinin ucundaki GNSS konum bilgisini alan bir alıcı böylece trenin uğtan uca bir bütün olarak raydaki konumunu bulabilmektedir.

3.2.9 Vagon sayısı

Bu alan 10 bit ile kodlanır ve trende bulunan vagon sayısı bilgisini tutmaktadır. Bu bilgi de tren harekete hazır hale geldiğinde makinist tarafından ön tanımlı olarak sisteme girilmelidir.

3.2.10 Aks sayısı

Bu alan 11 bit ile kodlanır ve trendeki teker (aks) sayısını vermektedir. Bu bilgide tren harekete başlamadan önce vagonlar bağlandıktan sonra makinist tarafında sisteme girilir. Böylece ray devrelerindeki aks sayıcılardan gelen bilgi bu şekilde doğrulanabilmektedir.

3.2.11 Ağırlık

Bu alan 13 bit ile kodlanmakta olup trenin 10 tonluk birimler halindeki ağırlığını vermektedir. 13 bit ile en çok 8192 sayısı ve buna bağlı 81920 tonluk bir trenin ağırlığı tanımlanabilir.

Ağırlık bilgisinin yayınlanmasındaki amaç diğer trenlerin sinyali yayan trenin durma mesafesi hakkında gerektiğinde bir öngöründe bulunabilmeleri içindir.

3.3 Sabit Birimlere Özgü Veri Modeli Bileşenleri

Sabit birimlerin durumlarına bağlı olarak veri yollama sıklıkları Çizelge 2.5 üstünde tanımlanmış olup sabit birimin yollaması gereken veri modeli de Çizelge 3.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.4: Sabit birim mesajlarının veri modeli.

Sabit birim	
İletilecek bilgi	Veri boyutu(bit)
Mesaj tipi	2
Slot numarası	12
Bir sonraki slot numarası	12
GNSS konumu	46
Birim numarası	16
Birim tipi	6
Çakışma slot numarası	12
Birime özel bilgi	62
Toplam	168

Tüm sabit birimlerin GNSS sinyali üstünden UTC zaman senkron olması gerekmektedir. Trenler sabit birimlerden gelen sinyale bakarak kendi sinyal zamanlarını senkronize etmektedirler.

3.3.1 Birim numarası

Bu alan 16bit ile kodlanmış olup ülke içerisindeki Birim tipi ile tanımlanan tipteki birim numarasına ait tekil bilgiyi barındırmaktadır.

3.3.2 Birim tipi

Bu alan 6 bit ile kodlanmış olup raylarda kullanılan aks sayıcı, ray devresi, hemzemin geçit, ışıklı sinyal gibi sabit birimleri gruplamak amacıyla kullanılabilir.

3.3.3 Çakışma slot numarası

Bu alan 12 bit ile kodlanmış olup sabit birimin kendi yolladığı mesaja en yakın geçmişteki tespit edilen çakışmaslot numarası bilgisini barındırır. Çakışma algılanmaması durumunda 0 biti yollanır. Böylece çakışan mesajı yollayan birimler bu bilgi ile çakışmaya girdiklerini anlayıp tekrardan slot seçerek veri yollama yoluna giderler.

3.3.4 Birime özel bilgi

Bu alan için 62 bit ayrılmış olup içeriğinde tutulacak verinin formatı kapsam dışında bırakılmıştır. Bu alanda tutulacak veri ile ilgili sabit birimin durumu tren yaklaşmadan öğrenilebilecektir.

Örneğin raylardaki duruma bağlı makinistler ışıklı sinyalleri takip etmektedirler ama sis gibi görüşü kısıtlayan durumlara karşı sinyaller birer sabit birim olarak sinyal ışığının durumu hakkında bilgi yayınlayarak makinistin sinyalin hem yeri hem de o anki durumu hakkında bilgi sahibi olmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak ray makasının durumunu makinist daha makasa girmeden bilebilir ya da aks sayıcı devresinden geçtikten sonra sayıcı devrenin kaç aks saydığı bilgisini öğrenebilir ve bu bilgiyi kendisindeki aks sayısı ile karşılaştırıp trenin aks sayıcı devresini geçip geçmediğini anlayabilir.

3.4 Acil Durum Mesajlarına Özgü Veri Modeli Bileşenleri

Tren ve sabit birimlerin ne sıklıkta acil durum mesajı yollayacakları Çizelge 2.5 üstünde tanımlanmış olup acil durum mesajlarının veri modeli de Çizelge 3.5 ile gösterilmiştir.

3.4.1 Yollayan kaynak tipi

Bu alan 1 bit ile kodlanmış olup 1 olması durumunda tren, 0 olması durumunda ise sabit birim tarafından mesaj yollandığını belirtmektedir.

Çizelge 3.5: Acil durum mesajlarının veri modeli.

Acil durum	
İletilecek bilgi	Veri boyutu(bit)
Mesaj tipi	2
Slot numarası	12
Bir sonraki slot numarası	12
GNSS konumu	46
Yollayan kaynak tipi	1
Kaynak numarası	16
Acil mesaj kategorisi	5
Acil mesaj içeriği	74
Toplam	168

3.4.2 Kaynak numarası

Bu alan 16 bit ile kodlanmış olup mesajı yollayan tren olması durumunda en anlamlı iki biti 00 ile başlamak üzere Tren numarası (9 bit) ve Tren türü (5 bit) bilgilerini barındırır. Eğer veri sabit birimden geliyorsa bu durumda sabit birim numarası bilgisini barındırır.

3.4.3 Acil mesaj kategorisi

Bu alan 5 bit ile kodlanmış olup acil durum mesajlarını gruplamak amacı ile kullanılmaktadır.

3.4.4 Acil mesaj içeriği

Bu alan 74 bit ile kodlanmış olup içeriğinde barındırılacak bilgi kapsam dışı bırakılmıştır. Bu alanın amacı Acil mesaj kategorisi ile ilişkili acil durum mesaj bilgisini barındırmasıdır.

Tren Sabit birim	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	
Acil durum	W	X	Y	Z										

Şekil 3.2: Veri modelinin farklı mesaj tipleri için farklı verileri barındıran son 96 bitinin ölçekli çizimi. E: Tren numarası. F: Tren türü. G: Lokomotif cinsi. H: Lokomotif sayısı. I: Ray bilgisi. J: Hız. K: Yön. L: İvme. M: Eğim. N: Uzunluk. O: Vagon sayısı. P: Aks sayısı. R: Ağırlık. S: Birim numarası. T: Birim tipi. U: Çakışma slot numarası. V: Birime özel bilgi. W: Yollayan kaynak tipi. X: Kaynak numarası. Y: Acil mesaj kategorisi. Z: Acil mesaj içeriği.

4. ÇALIŞMA MODELİ VE BAŞARIM ANALİZİ

4.1 Çalışma Modeli

Sistem çalışmasında bir UTC dakikasının (60 saniye) 2250 zaman parçasına (slot) bölünmesi ve her bir zaman parçasında 4FSK modülasyonu ile 25kHz frekans bandında 9600bps iletişim hızında veri iletimi yapılabilmektedir. Bir slotun toplam bit uzunluğu 256 bit olmasına karşılık Çizelge 2.7’de görüldüğü gibi koruma bitleri hariç bırakıldığında yararlı veri iletişimi için 168 bit alan kalmaktadır.

AIS modelinde olduğu gibi önerilen sistemde de VHF frekans bandı kullanılacağı düşünülmüştür. Kullanılacak frekansa ve anten parametrelerine göre sinyal mesafesi değişmekle birlikte ortalama 10km çapta bir sinyal kapsama alanı olacağı ön görülmüştür.

Önerilecek system AIS modelinde olduğu gibi farklı birimlerin kendi slot zamanlarında veri yollamaları ve diğer zamanlarda dinlemeleri şeklinde olduğu için yarı çiftyönlü (Half-Duplex) bir iletişim söz konusudur.

Önerilen modelde sabit birimlere özel görevler verilmiştir. Trenlerin aynı slot içerisinde sinyal yollaması durumunda sinyalleri çakışacaktır ve sinyal yollayan birimlerin kendileri o esnada veri iletim modunda oldukları için durumu anlayamazlar. Bu sebeple sabit birimler 10sn periyotları içerisinde mesajlarına en yakın yaşanan çakışmanın slot bilgisini de yollarlar. Böylece çakışan istasyonlar durumları hakkında bilgi sahibi olabilir.

Önerilen sistemde tüm istasyonların zaman anlamında senkron olması önemlidir. Bu anlamda çözüm GNSS sisteminden gelmektedir. GNSS zaman sinyaline bakarak istasyonların zamanlarını senkronize etmesi beklenir fakat trenler gibi hareketli birimlerin sürekli olarak GNSS sinyali alamaması durumu da mevcuttur. Bu sebeple öncelikle sabit birimlerin GNSS senkron olarak kurulması ve tren birimlerinin de sabit birimlerin 10sn aralıkla yolladıkları mesajları kullanarak kendi saatlerini

senkronlaması beklenir. Buna ek olarak eğer tren sabit birimlerden 10sn süresince sinyal alamazsa GNSS üstünden zaman senkronlaması yapabilir.

4.1.1 Dinleme aşaması

Sistem içerisinde bir birim ilk açıldığında öncelikle ortamdaki diğer birimlerin konuşma zamanlarının planını çıkarması için 1 UTC dakikası süresince ortamı dinlemelidir. Ortamı dinlerken var olan sabit birimlerin ve operasyonda olan trenlerin mesajlaşma bilgisini kendi veri tabanına kaydetmelidir.

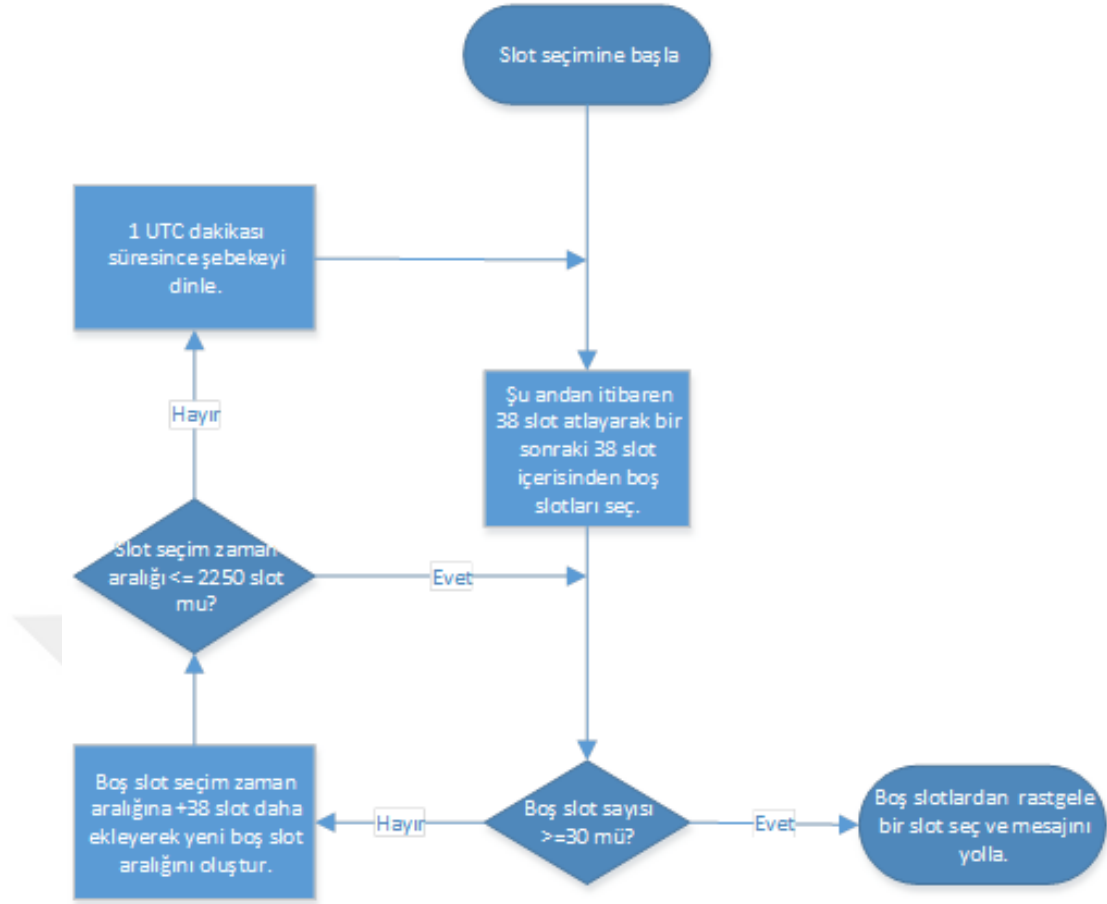
4.1.2 Boş slot seçimi

Dinleme aşaması geçtikten sonra cihaz kendi bilgilerini yollamak için uygun slotu seçme noktasında UTC 1 dakikası içerisinde dinlerken elde ettiği bilgileri kullanarak işlem zamanından 1 saniye (38 slot) sonrasındaki en yakın boş slotlardan birini kullanmalıdır. Her bir birim kendi mesajını yollarken bir sonraki mesajında hangi slot numarasını kullanacağını da belirttiğinden, dinleme sırasında birimler şebeke içerisindeki boş slot bilgilerini de çıkarabilmektedir. Mesaj yollama zamanı ilgili birim elde ettiği boş slotlar verisinden seçim yapması gerekir.

Boş slotlardan seçim yaparken aynı anda iki yeni birimin kapsam alanında olması ya da Çizelge 2.5 de verildiği gibi bir trenin 1 dakikadan daha uzun aralıklarla mesaj yayınlanması durumlarına karşı bir koruma amacı olması sebebi ile birim, veri yollayacağı slotu en az 30 slotluk bir boş slot grubu içerisinde rastlantısal olarak seçmelidir. Bakınız Şekil 4.1

Sistemin kaldırabileceği en çok cihaz sayısını yukarıdaki boş slot seçim algoritması belirlemektedir. Eğer birim rastgele seçim yapacak boş slot havuzuna 30 slotu, 60 saniyelik zaman aralığında bulamaması durumunda birimin 1 tam UTC dakikası süresince şebekeyi dinleme konumuna geçmesi ve ardından tekrar slot seçim sürecine başlaması gerekmektedir.

Birimin boş slot seçim havuzuna 30 slot koyabilmesi durumunda da bu slotlardan rastgele olarak birini mesaj gönderimi için seçer ve ek olarak “Bir sonraki slot numarası:” alanına yazmak üzere mesaj gönderim periyoduna uygun bir sonraki mesaj slotunun seçimini yapmalıdır. Bir sonraki slot numarası seçimi için birim Şekil 4.2 ‘deki akış diyagramını uygulamalıdır.

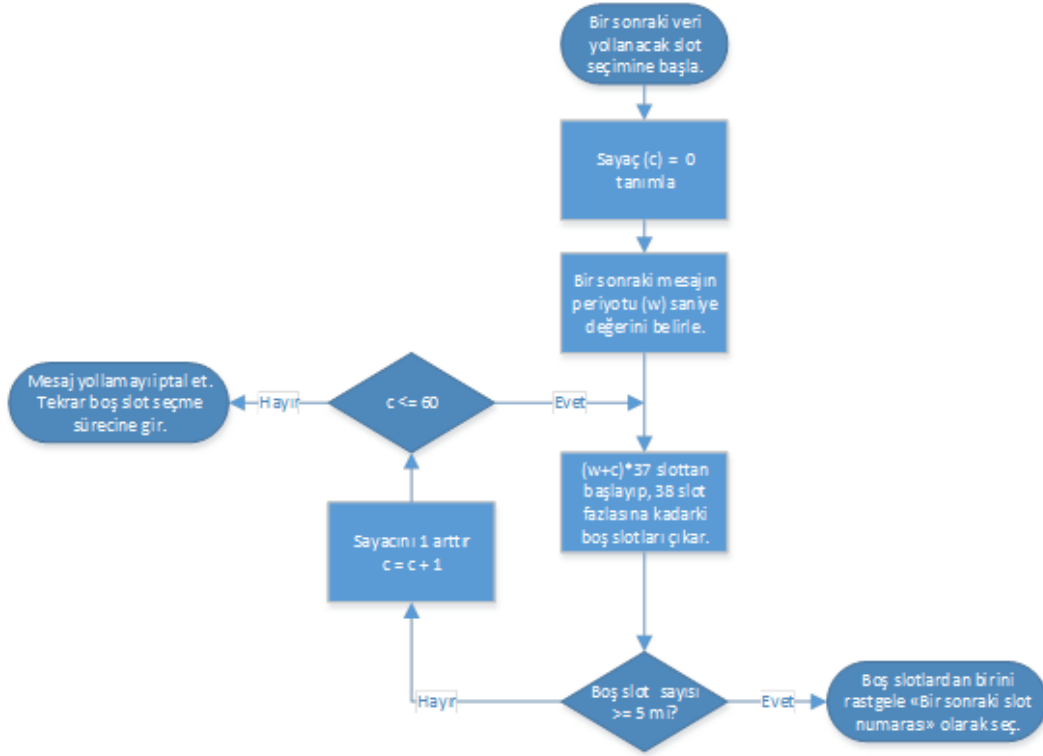


Şekil 4.1: Raylı taşımacılıkta boş slot seçim modeli.

Bir sonraki slot zamanı belirlenirken çakışmayı engellemek adına en az 5 slotluk bir seçim havuzu yaratılıp bu havuzdan seçilmesi amaçlanmaktadır.

Eğer veri yollanmadan başka bir birimin yolladığı mesajda “Bir sonraki boş slot numarası” seçilen ile çakışırsa bu durumda geri kalan 4 slottan biri rastgele seçilir. Eğer bu da çakışırsa diğer 3 slot seçilir ve bu durum geriye hiç seçecek slot kalmayana kadar tekrarlanır. Eğer hiç slot kalmazsa bu durumda tekrar boş slot seçim algoritmasına girilir.

Eğer bir birimin “Bir sonraki boş slot numarası” olarak yayınladığı slotu daha sonradan başka bir biriminde “Bir sonraki boş slot numarası” olarak anons etmesi durumunda ilk yayınlayan birimin bir sonraki verisini tekrardan boş slot seçim algoritmasına göre belirlemesi gerekmektedir. Kısaca bir birimin ileride veri yollamak için şebekede rezerve ettiği slotu başka bir birimin de rezerve etmesi durumunda en güncel yollayan birim slotu kullanabilir. Bu durum kapsama alanına yeni bir trenin girmesi gibi durumlarda nadiren oluşabilir. İki birimin aynı slot zamanını kullanması aşağıdaki durumlarda olabilir.



Şekil 4.2: Bir sonraki slot numarası seçimine dair akış diyagramı.

- Acil durum mesajları diğer birim mesajlarına baskındır. Önem seviyesi yüksek olmasından ötürü acil durum mesajları önceliklidir.
- Kapsama alanına yeni bir cihazın girmesi. Bu durumda ilgili birim slot rezervasyon bilgisini görmediği için kendisi boşta varsayıp kullanacaktır. Bu durumda mesajı alan ve aynı slotu kullanmayı seçen istasyon veri zamanını beklemeden tekrar boş slot çiem algoritması ile mesajını yollama sürecine girer.

4.2 Sistemin Başarımı

Sistemin başarımındaki ölçüt, bir birimin, sinyalinin kapsama alanı içerisinde, iletmeye gereken mesajını Çizelge 2.5 ile verilen süreler içerisinde iletebilmesidir. Buna engel olabilecek en önemli durum çakışmadır. Buna ek olarak kablosuz ağlardaki gizli birim sorunsalı ve kanal kapasitesi de mesaj gecikmesine sebep olabilirler.

4.2.1 Çakışma

Şebeke içerisinde 1 UTC dakikasında 2250 slot yollandığından 1 saniye içerisinde yaklaşık olarak 37 adet slot yollanır. Bir birim haberleşme sistemine dahil olurken ilk olarak 1 UTC dakikası süresince ortamı dinleyip hangi birimlerin veri yollayacağını

artık öğrenmiş olur. Bu bilgi ile birlikte kendisi de verisini yollayacağı zamanı Şekil 4.1'deki akış diyagramında da verildiği gibi $30 \leq B \leq 67$ olacak şekilde B adet boş slottan bulmaya çalışır. Koşulu sağlayacak adette boş slotu temin edince de bu slotlardan birini rastgele seçerek verisini yollamaya hazırlanır. Eğer veri yollama zamanına gelirken başka bir birim seçilen slotu kullanacağını yayınlarsa tekrardan slot seçim algoritmasına geri dönülür.

Görüldüğü gibi sistemde çakışma olması durumu, beklenen bir durum olup, buna karşı sabit birimler çakışma durumlarını kontrol etmekle görevlidir. Yine de başarımlar anlamında sisteme aynı anda ya da aynı saniyede N adet birimin aynı slot ile veri yollama ihtimali sistemin başarımlarında bir ölçüt oluşturacaktır.

N adet birimin aynı anda girdiği bir ortamda veri yollanabilecek B adet farklı ihtimal vardır. Birimlerin hiç çakışmaması durumunu düşünürsek, N adet birimden ($N \leq B$) ilki bu ihtimallerden B adedini seçebilirken bir sonraki birime çakışma olmaması için $B - 1$ ihtimal ve diğerine $B - 2$ şeklinde N. birime $B - N$ ihtimal kalır. Bu durumda hiçbir birimin çakışmama olasılığı (4.1) denklemiyle bulunur.

$$P_{\{N \text{ birimin çakışmaması}\}} = \frac{B(B-1)(B-2)\dots(B-N)}{B.B.B\dots B} \quad (4.1)$$

(4.1) denklemini düzenlersek N birimin çakışmama olasılığı olarak (4.2) denklemine ulaşırız.

$$P_{\{N \text{ birimin çakışmaması}\}} = \frac{B!}{(B-N)! B^N} \quad (4.2)$$

(4.2) denklemini B 'nin en düşük olabileceği değer olan 30 birim için düşünürsek Çizelge 4.1 elde edilir.

Sabit birimlerin sisteme girişleri ise daha kontrollü olmalıdır. Her UTC saniyesinin Çizelge 3.5 ile de verildiği gibi ilk 7 slotu sabit birimlerin kullanımına atanmıştır. Sabit birimler Çizelge 2.5 de verildiği gibi 10 saniye aralıkla mesaj yolladıkları için sistemin kapsama alanında en fazla 70 adet sabit birim barınabileceği söylenebilir. Bu birimlerin mesaj yollayacakları slot numaralı da önceden tanımlı olmalıdır. Buna ek olarak dinamik olarak Acil Durum mesajı yollarken ya da istendiğinde bir sabit birim

Çizelge 4.1: Sınır B değerleri için N adet birimin aynı anda sisteme girmesi durumunda slotların çakışmaması ihtimalleri.

N	N birimin çakışmaması olasılığı	
	B=30 için	B=67 için
1	1,00	1,00
2	0,97	0,99
3	0,90	0,96
4	0,81	0,91
5	0,70	0,86
6	0,59	0,79
7	0,47	0,72
8	0,36	0,65
9	0,26	0,57
10	0,18	0,49
11	0,12	0,42
12	0,08	0,35
13	0,05	0,29
14	0,03	0,23
15	0,01	0,18
16	0,01	0,14
17	0,00	0,11
18	0,00	0,08
19	0,00	0,06
20	0,00	0,04

de tren gibi davranarak sisteme girip mesaj yollayabilir. Sabit birimlerin slot yerlerinin belirli olması ile

- Tüm sistemin zamansal senkronizasyonuna destek olunur
- Çakışma olması durumunda çakışmaların tespiti sağlanır

Tam bir UTC dakikası içerisinde 2250 slot olmasına karşın sabit birimlerin 10 saniyede bir rezerve slot tüketmesi sebebi ile en çok 70 sabit birim toplam slot sayısının 420 tanesini kullanacaktır. Kısacası geriye kalacak olan 1830 slot ise daha çok trenlerin kullanımına kalacaktır. Eğer bir kapsama alanında Çizelge 2.5 ile belirtilen Tren durumlarından sadece sıklığı 10 saniye olanlardan olması durumunda en çok 305 tren, sadece sıklığı 5 saniye olan trenlerden olması durumunda 152 tren ve sıklığı 2 saniye olan trenlerden ise en çok 61 tren barınabilir.

4.2.2 Birim sayısı

Önerilen sistemde 10km çapındaki sinyal kapsama alanında en çok 70 sabit birim olabilirken Çizelge 4.2'den görüldüğü gibi mesaj sıklıklarına göre teorik üst sınır en az 61 birim olmaktadır.

Çizelge 4.2: Trenlerin mesaj sıklıklarına göre kapsama alanında bulunabilecek teorik en çok birim sayısı.

Tren mesaj sıklığı	En çok tren sayısı
10sn	305
5sn	152
2sn	61

Tren taşımacılığında 10km çap içerisinde 61 Trenin olması pek muhtemel değildir. Yapılan bilgisayarlı simülasyonlarda ortamda 4 trenin olması durumunda neredeyse hiç çakışma yaşanmamakla beraber sistemde çakışmaya sebep olan durumun kapsama alanı sabit kalmak koşulu ile yeni trenlerin girmesiyle oluşmaktadır.

4.2.3 Sinyal kapsama alanı

Önerilen sisteminde denizcilikte kullanılan AIS sistemi gibi VHF bandında çalışacağı düşünüldüğünde ortalama olarak 10km çapında bir sinyal kapsama alanına sahip olacağı öngörülmektedir.

Sinyalin yollanması ya da alınmasında en önemli bileşen anten yüksekliği olmakla birlikte trenlerde antenin denizcilikte olduğu kadar yüksekte olması mümkün olmamakla birlikte olabilecek en yüksek noktaya yerleştirilmesi önerilmektedir.

Dağlar, binalar, ağaçlar gibi yeryüzü engelleri açısından VHF sinyalinin uzun dalga boyu bir avantaj olsa da bu türden yüzey oluşumlarının sinyal üstünden olumsuz etkisi olacaktır.

Denizcilikte kullanılan AIS sistemi deniz üstünde sinyalin 37km yarıçapına ulaşabileceğini göstermektedir ama karasal ortamdaki engelleyici faktörler sebebi ile sinyalin 10km çapında bir alanı kapsayacağı düşünülmüştür.

Anten kazancı ya da sinyal gücünün artırılması sinyal kapsama alanını arttırsa da bu durum genel sistemin çalışmasına her zaman olumlu etki yapmamaktadır. Sinyal

kapsama alanı genişledikçe belirli bir alan içerisindeki haberleşebilen birim sayısı da artmış olacaktır. Bu durumda trenlerin sinyallerinin çakışma ya da bir sonraki slot seçimlerinin kesişim sayılarının da artması ile sonuçlanır.

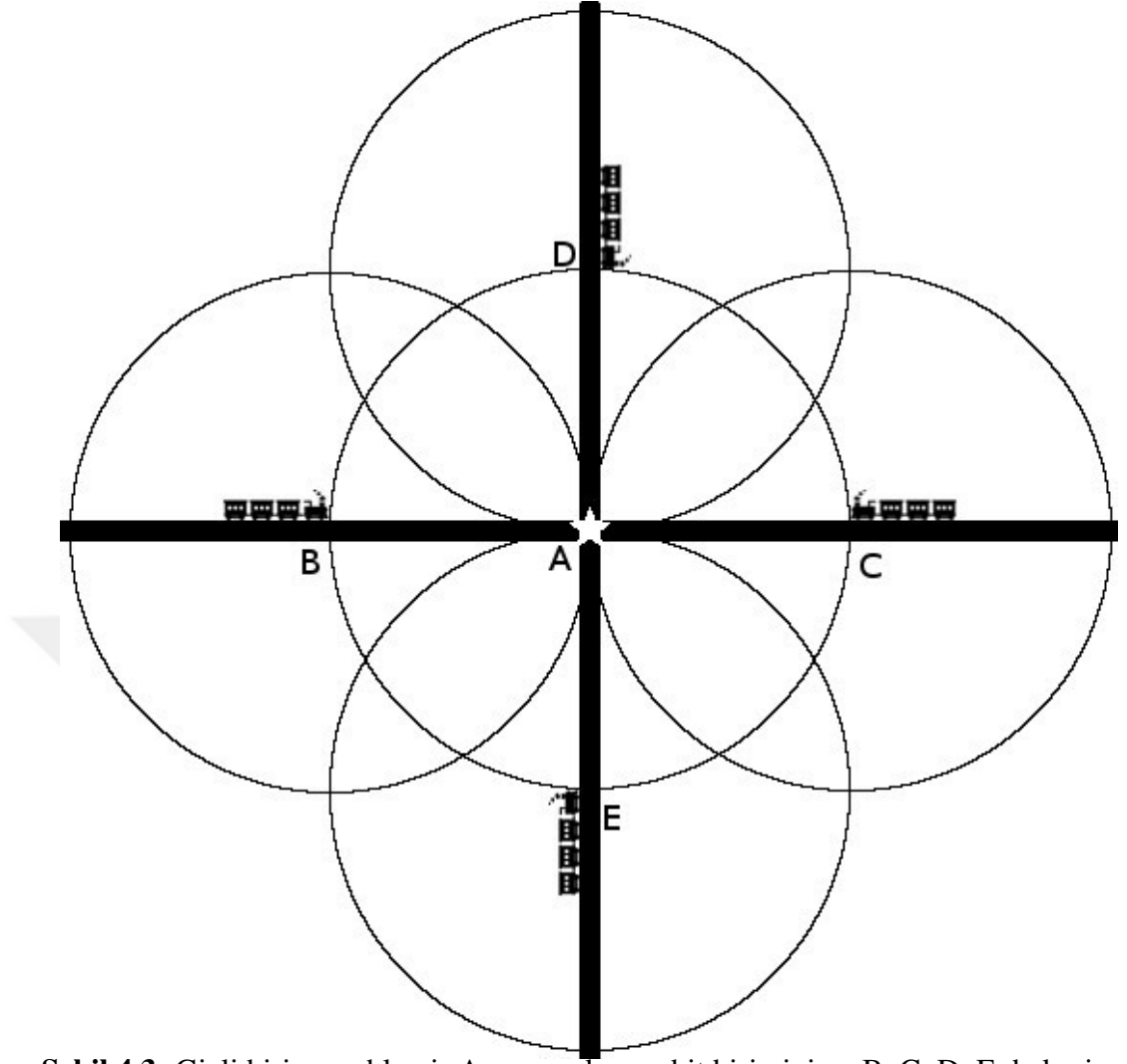
4.2.4 Gizli birim (hidden node)

Sistemin kapsama alanı ortalama olarak 10km çapında olması beklenmektedir. Bu durum seçilecek olan sinyal ve cihaz bileşenleri ile ortam koşullarına ve hava şartlarına göre de değişiklik gösterebilir.

Belirli koşulların sağlanması durumunda kablosuz haberleşmede gizli birim (hidden node) olarak bilinen durum yaşanabilir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi A sabit birimi bir ray makası olarak kendisine yaklaşmakta olan 4 trenin de sinyal kapsama alanında olduğu için trenlerin sinyallerini alabilmekte fakat trenler birbirlerinin sinyallerini alamamaktadır. Burada oluşabilecek sorun A sabit istasyonunun sinyal göndermesinde değil sinyalleri almasında yaşanabilir. Eğer trenler aynı slotta veri yollamayı seçerlerse bu durum A sabit birimine çakışma olarak yansıtacaktır. Sabit birimler çakışma algılaması durumunda 10 saniyede bir periyoduk olarak yayınladıkları mesajda son çakışma algıladıkları slot bilgisini de mesajları ile birlikte yayınlarlar. Böylece bu mesajı alan trenler çakışma durumuna girdiklerini anlayıp hemen tekrar boş slot seçim algoritmasına geri döneceklerdir.

Gizli birim probleminin sistemde yaratacağı durum birbirinin sinyalini alamayan birimlerin mesajlarını alan ortak birim için aynı slotu kullanılması durumunun sinyal çakışması olarak yansımalarıdır. Eğer ortak birim sabit istasyonsa çakışma bilgisi yollayarak birimlerin tekrar mesaj yollamasını sağlarken tren birimi olması durumunda kendisine çakışan slot için gelen mesajı anlayamayacaktır. Fakat trenlerin bir sonraki mesaj yollayacakları zaman belirli bir periyotta rastgele seçildiği için bir sonraki mesajlarının da çakışması çok düşük bir ihtimaldir.

Şekil 4.3 ile şematize edilen durumda oluşabilecek en kötü senaryoyu incelemek istersek. Sadece B ve C trenlerinin olduğunu varsayalım. A istasyonunun dinleme alanına iki trenin de aynı anda varması ve iki trenin de mesajlarını aynı slotta yolladığını dolayısı ile çakıştıklarını da varsayalım. Bu durumda A ray makası kendisine yaklaşmakta olan bu trenlerin konumlarını öğrenemeyecektir. Bununla birlikte trenlerinde 200km/sa hızla hareket ettiklerini düşünelim. Bu durumda trenlerin



Şekil 4.3: Gizli birim problemi. A, ray makası sabit birimini ve B, C, D, E de kesişen ray hatlarındaki tren birimlerini temsil etmektedir. Her bir çember 10km çapındaki sinyali kapsama alanını göstermektedir.

A ray makasına 90 saniye sonra varması beklenir. Önerilen sistemde 90km/sa'den hızlı giden trenlerin 2sn'de bir mesaj yollaması gerekir ve bu sebeple trenlerin A ray makasına varana kadar 45 kere, kanalın müsait olması durumunda, konum mesajı yollaması gerekir. Trenler periyodik mesaj yollamalarında bu hidden node problemi olmaması için Şekil 4.2 ile verilen algoritmada da gösterildiği üzere trenlerin slot seçimleri 5 ila 38 slot arasında değişen bir havuzdan rastgele seçilmektedir. Dolayısıyla trenlerin bir sonraki mesajlarının da çakışma ihtimali çok düşüktür.

A ray makası tren bilgilerini alması da kendi 10sn'lik mesaj periyotlarında çakışma durumlarını yayınlamaktadır. Dolayısıyla B ve C trenleri olasılığı düşük olmasına karşın rastgele arka arkaya seçecekleri 45 konum mesajında da çakışacak olsalar bile bu süreç içerisinde A ray makası da 9 kere bildirimde bulunacak ve bu bildirimlerde

çakışma durumlarını bildirecektir. Dolayısı ile B ve C trenleri birbirlerini bilmeseler bile çakışma yaşadıklarını bilerek daha kısa sürede tekrar içerisinde rastgelelik olacak şekilde slot seçimi yapacaklardır. Yine de ray makası her zaman 1 tane çakışma bilgisi yollayabildiği için kendi mesajına en yakın çakışmayı yayınlayacaktır. Eğer sistemde B ve C trenlerinden daha sonraki slotta D ve E trenleri girip mesaj slotlarında çakıştırlarsa bu durumda B ve C trenleri çakışma yaşadıklarını anlayamazlar. Bu duruma karşı sistemde bir koruma olmasa da durumun gerçek hayatta oluşma ihtimali çok düşük olduğu için göz ardı edilmiştir.

Sabit istasyonların 10sn periyotla mesaj yollaması sebebi ile B ve C istasyonları trenleri çakışma halinde olduklarını geç anlıyor olabilirler. Trenler sinyal kapsama alanlarının dörtte biri kadar (2,5km) birbirlerin yaklaştıklarında artık birbirlerinin de sinyallerini alabileceklerdir. Bu andan sonra ray makasına varana kadar her bir trenin 22 kez daha kanalda yoğunluk olmaması durumunda sinyal yollayacağından ötürü rastgele seçim faktörü de düşünüldüğünde karşılaşmalarından önce en az 1 kere birbirlerinin varlıklarını anlayabilecekleri bir mesajlaşmanın yaşanacağı muhtemeldir.

4.2.5 Simülasyon

Önerilen protokol modelinin bilgisayar ortamında başarımını hesaplamak amacı ile açık kaynak bir mühendislik yazılımı olan GNU Octave yazılımının 3.8.2 versiyonu üstünde çalışan simülasyon kodu tez kapsamında yazılmıştır. Simülasyon ile sınır değerlerdeyken sistemin başarımını ölçmek amaçlandığı ve sabit birimlerin de kullanabilecekleri slotlar zaten belirli olduğundan simülasyonda hesaplama yaparken sadece tren hareketlerini dikkate alacak şekilde düzenlenmiştir. Simülasyon kurgusu içinde verilecek parametrele vasıtası ile sabit bir alan içerisindeki tren hareketleri ve bu hareketler neticesinde oluşan slot çakışmaları ölçülmüştür.

Yapılan ilk simülasyon ölçümlerinde Çizelge 4.3 ile verilen sürelerde ayrı ayrı üçer kere simülasyon çalıştırılarak değerlerin simülasyon süresi ile olan ilişkisine odaklanılmıştır. Simülasyon kurgusunda 10km çapındaki sabit bir alan içine yeni tren birimi girmemesi ve olanlarında da çıkmaması yani simülasyon başındaki ortamın hep korunması durumunda yaşanabilecek çakışma ve birimlerin bir sonraki mesaj slotu bilgilerinin kesişmesi durumları ölçülmüştür. Simülasyonun sonucunun üst değerleri vermesi için de simülasyon içindeki trenlerinde sanki aynı anda girmiş gibi

0,3sn aralıkla 10 adet tren olacağı ve trenlerin 5sn aralıkla mesaj yollayacağı şekilde simülasyon senaryosu düzenlenmiştir. Çizelgenin en sonunda da tüm ölçümlerin ortalaması verilmiştir. Simülasyon sonucunda şu bulgular elde edilmiştir:

Çizelge 4.3: Simülasyon sonucu 10 trenin bulunduğu bir ortamda mesaj slotlarının ve bir sonraki slot bilgilerinin çakışma sayılarının ortalaması.

Simülasyon süresi (saniye)	Mesaj slotlarının çakışması durumu	Trenlerin bir sonraki slot mesajlarının kesişmesi
120	2,3	11,7
600	3,7	38
1800	3	23
3600	1	33
18000	2,7	24
36000	1,7	24
72000	1,3	24
86400	2,3	32
Ortalama:	2,25	26,2

- Tüm çakışmalar 2 birim arasında yaşanmış olup daha fazla birim arasında bir çakışma durumu hiç gözlemlenmemiştir. Buradan varılan yorum trenlerin iletişimin başlarında çakışma yaşayacağı ve süre ilerlediğinde çakışma durumlarının gözlemlenmeyeceği şeklindedir.
- Simülasyon benzeri bir ortamda ortalama olarak yaklaşık 2 kere çakışma yaşanması beklenmektedir. Bu durum mesaj slotlarının ancak 2 adedinin ortamda dinleyenler tarafından alınamayacağı diğer bir deyişle 86400sn olan haberleşme süresinin sadece 0,05sn aksama yaşayacağına işaret etmektedir ki bu değer çok düşüktür.
- Ortaya çıkan değerlerden simülasyon süresinin çakışma değerlerine bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi birbirlerine çok yakın zamanlarda sisteme girdiği varsayılan trenlerin, ilk çakışma durumlarından sonra tekrar rastgele seçim algoritması ile çakışmadan uzak slotları seçmeleridir. Yani sistemdeki slot seçim algoritması kendi kendini iyileştirme özelliğine sahiptir.
- Simülasyon ortalaması olarak trenlerin bir sonraki mesaj slotu bilgilerinin 26 kere ezilmesi ama buna karşın mesajların 2 kere çakışması bir sonraki mesaj slotunun çakışması durumunda kullanılan Şekil 4.2'deki algoritmanın iyileştirici etkisidir.

Sistemin en tepe limitlerini sınamak için simülasyon kodu biraz daha değiştirilerek tekrar çalıştırılmıştır. Bu sefer yine 10km çapındaki bir alan içerisinde hepsi aynı anda sisteme girmiş 20 tren ile simülasyona başlanmış ve buna ek olarak her saniye sisteme tren giriş ve çıkışının yaşanacağı şekilde düzenlenmiştir. Simülasyon içinde sisteme aynı anda en çok 5 trenin girebileceği ve en çok 5 trenin çıkabileceği ve trenlerin de 90km/sa hızdan daha hızlı gittikleri, bu sebeple 2sn aralıkla mesaj göndermeye çalışacakları şekilde simülasyon 3600sn için 5 iterasyonda çalıştırılmış ve Çizelge 4.4 ile verilen değerler elde edilmiştir.

Simülasyon sonucunda sistem 20 tren ile başlamasına rağmen yeni gelen trenler neticesinde aynı anda yayın yapan 400 adetten fazla tren olmasına rağmen aynı slotta çakışma yaşayan en çok 10 tren olduğu yani aynı slotu en çok 10 trenin çakışma yaşayarak birlikte kullanmaya çalıştığı görülmüştür. Buna ek olarak toplam tren slotlarının sadece yarısında çakışma yaşandığı ve ortalama olarak da üçte birinde çakışma yaşandığı görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarında trenlerin yayınladığı bir sonraki slot bilgilerinin kesişim durumu da yine toplam iletişim slotlarının üçter biri mertebesinde olmuş ve aynı anda en çok 9 trenin bir sonraki slot mesaj bilgilerinin kesişeceği görülmüştür.

Simülasyon sonucunda özellikle sistemin slot çakışması ya da bir sonraki slotun çakışması sebepleri ile bir trenin mesajının saniye cinsinden ne kadar gecikeceği de izlenmiş ve tüm simülasyonlarda ortalama olarak en çok 2sn mertebesinde bir gecikme yaşandığı görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına bakıldığında 10km çapında bir alanda 400 üstü tren olması ve 1 saat içinde ortalama olarak on binden fazla 90km/sa hızın üstünde trenin geçtiği bir raylı sistem trafiği gerçek koşullarda mümkün görülmemektedir, fakat önerilen sistem böyle bir kurguda dahi verimli çalışabileceğini simülasyon sonuçları ile göstermiştir.

Çizelge 4.4: Sınır değerlerin simülasyon sonuçları.

İterasyon	1	2	3	4	5	Ort.
Simülasyon süresi (saniye)	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Simülasyon süresince mesaj yollanabilecek toplam tren slot sayısı	109800	109800	109800	109800	109800	109800
Simülasyon başlangıcında yayında olan tren sayısı	20	20	20	20	20	20
Hiç yayın yapılmayan tren slot sayısı	37243	42769	55753	34512	53559	44767
Simülasyona dahil olan toplam tren sayısı	11076	10781	10617	11039	10756	10854
Aynı anda yayında olan en çok tren sayısı	588	483	245	469	249	407
Çakışma yaşanan toplam slot sayısı	53840	42687	24032	54228	26190	40195
Çakışmaya giren en çok tren sayısı	12	11	9	11	9	10
Çakışan slotların toplam tren slotlarına yüzdesi (%)	49.03	38.88	21.89	49.39	23.85	36.61
Çakışan slotların toplam yayın yapılan tren slotlarına yüzdesi (%)	74.2	63.68	44.47	72.03	46.57	60.19
Bir sonraki slot mesajının keşişmesi durumunu oluşum sayısı	20191	21473	19005	23200	20204	20815
Toplam mesaj iletiminde bir sonraki slotun keşişimi durumunun yaşanma yüzdesi (%)	27.83	32.03	35.16	30.82	35.92	32.35
Bir sonraki slot mesajının keşişmesi durumunda keşişen en çok tren sayısı	10	10	8	9	9	9
Sistemde bir trenin yaşadığı en uzun mesaj gecikmesi (sn)	2	2	2	2	2	2



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tren taşımacılığında riskleri azaltmak ve ray hatlarının daha verimli ve verimlilik sağlanırken de güvenli olması anlamında hali hazırda kullanılan klasik ray devreleri ve aks sayıcı sistemlerine ek güncel yapılar kullanılmalıdır. Bu bağlamda denizcilikte kullanılan AIS modelindeki gibi eş zamanlı ağ erişimi (TDMA) tekniğinden esinlenerek tren taşımacılığına uygun ve ucuz bir kablosuz iletişim protokolü önerilmiştir.

Günümüzde, hızlı trenlerde bir mecburiyet olarak cep telefonlarında kullanılan GSM (Global System for Mobile Communications) sistemine benzer bir şekilde GSMR (Global System for Mobile Communications – Railway) sisteminin kullanılması şart koşulmuştur. Bu sistemde makinist ile sadece ses iletişimi yapılabilmekte ve hareket halindeki trenle merkez arasında sürekli bir iletişim kanalı açık tutulmaktadır. Dolayısı ile tren sayısı artması durumunda sistem verimsiz hale gelmektedir. Buna ek olarak ray hattında sıkça baz istasyon kurulması gereksinimi de sistemin maliyetini arttırmaktadır.

GSMR sisteminin maliyetine karşın tren sayısı sınırlamasından ötürü sadece hızlı trenleri kapsamakta ve genel tren taşımacılığına uygulanamamaktadır. Tez kapsamında önerilen sistem ise teorik olarak 1024km/sa hıza kadar taşıtları desteklemekte, buna ek olarak da teorik olarak 10km çapındaki dairesel bir alan içerisinde 90km/sa'den hızlı giden 61 trene kadar aracın haberleşmesini desteklemektedir. Dolayısı ile önerilen sistem tüm tren taşımacılığında kullanılabilir ucuz bir karar destek sistemi olarak durmaktadır.

Tez kapsamında önerilen sistem ile hareket halindeki bir trenin makinistinin gözle görüş alanında olmasa bile etrafındaki diğer trenlerin ya da ray makası, sinyal ışıkları, istasyon, vb... sabit birimlerin hem konumlarını hem de durumlarını bilmesine ve hareket planını buna göre yapabilmesine imkan tanınmaktadır. Buna ek olarak belirli alanlara yerleştirilecek dinleme istasyonları vasıtası ile de tren komuta merkezleri de

sahadan aynı bilgileri toplayabilir ve hali hazırda var olan sistemlerden gelen veriler ile karşılaştırabilirler.

Örneğin bir makinist kötü hava şartları olmasından ötürü bir ray makasına yaklaşırken ray makasının konumunu önceden öğrenebilir ya da ışıklı bir sinyalin lambası arıza verse bile durumunu öğrenebilir ve bunlara göre bir hareket planı uygulayabilir. Diğer yandan trenin ray üstünde arıza vermesi durumunda aynı rayı kullanan diğer trenler için etrafına sürekli acil durum mesajı yayarak bir kaza olmasını engelleyebilir.

Önerilen sistemin ucuz olması ve kullanım alanının geniş olmasına rağmen güvenlik anlamında eksikleri bulunmaktadır. Kötü niyetli kişilerin sistem içerisinde yanlış ya da bozucu şekilde sinyal yayınlamaları muhtemeldir. Bu türden durumlara karşı AIS sisteminde de bir çözüm olmamakla birlikte merkeze bilgi ileten dinleyici birimler böyle bir hareketi algılayabilir ve yerel kolluk güçlerine durumu bilgilendirebilir ama bozucu sinyalin sisteme girmesi engellenemez. Güvenlik konusunda çözümler, ayrı birer tez çalışması olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Yıldırım U., Durmuş M. S., S.M.T.**, Demiryolu Sinyalizasyon Sistemleri İçin Otomatik Ankleşman Tablosu Oluşturulması, http://web.itu.edu.tr/durmusmu/publications/EUSIS'11_II.pdf, alındığı tarih: 08.02.2015.
- [2] **Aleksander S., José S., L.D.**, Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations, http://orbit.dtu.dk/files/110642912/alesn_PhD_Thesis_final_version_with_covers_compressed.pdf, alındığı tarih: 02.11.2015.
- [3] **G, L.**, Is GSM-R the limiting factor for the ERTMS system capacity?, http://www.kth.se/polopoly_fs/1.352184!/Menu/general/column-content/attachment/X12_009_report.pdf, alındığı tarih: 02.11.2015.
- [4] **Delgado, J.D.L.D. ve Santiago, J.M.R.S.**, KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR QoS ASSESSMENT IN TETRA NETWORKS, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1401/1401.1918.pdf>, alındığı tarih: 02.11.2015.
- [5] **M.1371-5(02/2014), R.I.R.**, Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1371-5-201402-I!PDF-E.pdf, alındığı tarih: 08.02.2015.
- [6] **Bakanlığı, T.M.E.**, Raylı Sistemler Teknolojisi Tren Trafiği Planları 84UH0020, Ankara 2011, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Tren\%20Trafi\%C4\%9Fi\%20Planlar\%C4\%B1.pdf, alındığı tarih: 27.09.2014.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hakan VELİOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: Trabzon, 1983

E-Posta: velioglulh@itu.edu.tr

Lisans: İ.T.Ü. Telekomünikasyon Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Hakan Veliöğlü**, Selçuk Parker, Hasan Bülent Yağcı, 2016: Raylı Sistemler İçin Uyarlanmış VHF Bandı Telsiz İletişim Protokolü. *24. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 16-19 Mayıs, 2016 Zonguldak, Türkiye.