

ŞEHİRİÇİ KORİDORLARDA ORTALAMA SEYAHAT SÜRESİ VE GİRİŞ-ÇIKIŞ (GÇ) MATRİSİ TAHMİNİNDE BLUETOOTH TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMI

Hediye TÜYDEŞ-YAMAN¹, Şule YÜCEL², Oruç ALTINTAŞI³

ÖZET

Ortalama seyahat süresi ve Giriş-Çıkış (GÇ) bilgisi tahmini gibi sıkça yapılan trafik analiz çalışmalarında, çalışma alanının ana giriş-çıkış noktalarına Bluetooth okuyucular yerleştirilerek araçların tespit edilmesi ucuz bir alternatif olarak önerilmektedir. Kullanımı giderek artan Bluetooth teknolojisi sayesinde, bu yöntemin gelecekte daha güvenilir ve kullanışlı sonuçlar üretmesi beklenmektedir. Otopanlarda kullanımı basit olan yöntem, şehiriçi bölgelerde çok daha zorlayıcı olmaktadır. Bu makale, araç hareketlerinin ve seyahat karakteristiklerinin, özellikle GÇ matrisi ve koridor seyahat sürelerinin, Bluetooth verisi kullanılarak tespitini sağlayan bir metod önermektedir. Bluetooth teknolojisi, şehiriçi bir koridordaki seyahat süresi tespitinde az sayıda MAC adres eşleşmesine rağmen oldukça etkili iken, GÇ matrisi tahmininin diğer yöntemlerle doğrulanması gerekmektedir.

GİRİŞ

Etlik'te inşa edilmekte olan entegre sağlık kampüsünün tasarım sürecinde, inşaat alanını çevreleyen 4 ana arterde ve 10 ana kavşakta mevcut trafik durumunun tahmin edilmesi ihtiyacı doğmuştur (Şekil 1). Ayrıca, mevcut durumdaki Giriş-Çıkış (GÇ) bilgisinin de tahmin edilmesi gerekmektedir. Söz konusu alan sınırları belirli bir kentsel bölge olduğu için, seyahatlerin gerçek başlangıç-son noktaları bilinmemekte olup, araçların sadece bu bölge için giriş-çıkış bilgileri analiz edilebilir. Bu nedenle, Giriş-Çıkış ifadesi tercih edilmiştir. Bu konuda daha önceden yapılmış bir çalışma olmadığı için, eş zamanlı görüntü kaydı ve Bluetooth teknolojisi gibi yeni yöntemlerle çalışma alanının çevresindeki trafik karakteristiği çıkarılmalıdır. Şekil 1 'deki gibi yerleştirilen 4 Bluetooth okuyucudan alınan MAC adres verisi, 4 ana kavşak arasındaki (J1, J4, J6 ve J7) GÇ matrisinin tahmin edilmesi ve (J1-J4) ve (J4-J6) koridorlarındaki ortalama seyahat sürelerinin tespit edilmesi amacıyla analiz edilmiştir.

Bu çalışmadaki en büyük zorluk, Bluetooth verisinin, tüm giriş-çıkışların (sokaklar, park girişleri vs.) gözlemlenemediği açık bir sistem olan şehiriçi trafiğinden toplanmasıdır. Bu tip açık sistemlerde sisteme giren ve sistemden çıkan akımların

¹ Yard. Doç. Dr., ODTÜ, İnşaat Fakültesi, Ankara

² Araştırma görevlisi, ODTÜ, İnşaat Fakültesi, Ankara

³ Sistem Mühendisi, ISSD, Ankara

eşleşmesi güç olup, seyahat örüntülerinin tahmininde tüm yakalanan MAC adreslerinden faydalanılamamaktadır. Ayrıca şehiriçi bölgelerde eşleşmiş seyahatler araçlara ait olmayabileceğinden, araç seyahatlerinin filtreleme yöntemi ile ayrıştırılması gerekmektedir.



Şekil 1 Bluetooth okuyucuların yerleri

LİTERATÜR

Bluetooth, düşük güç tüketimi ve güvenlik konusu nedeniyle kısa mesafelerde veri transferi sağlayan ve özel bir radyo frekansı kullanan (2.4 GHz) kablosuz bir teknolojidir. Bluetooth protokolü MAC adresi denen elektronik belirleyicileri kullanır. Bluetooth ile izleme, dinamik trafik yönetim uygulamaları (1), Akıllı Ulaştırma Sistemi (ATS) uygulamaları (2) gibi pek çok farklı çalışmada kullanılmıştır. Özellikle zaman bilgisini kaydetmesi ve hızlı veri transferi yapabilme özelliği bu yöntemi, gerçek zamanlı trafik yönetimi (3, 4, 5, 6, 7) için iyi bir alternatif yapmaktadır. Yaya hareketlerinin, yayaların seyahat ve oyalanma sürelerinin (8) ve hava alanlarındaki bekleme sürelerinin (9) analiz edilmesi, Bluetooth ile izlemenin diğer uygulama alanlarıdır.

Bluetooth'un Ulaşım Alanındaki Kullanımı

Bluetooth teknolojisinden faydalanarak seyahat süresi ölçümünün ve tahmininin yapılması, gerçek zamanlı trafik yönetiminde önemli konuların başında gelir. Bir koridorun seyahat süresinin tahmini için, Bluetooth algılayıcıları tarafından üretilen

MAC adresi ve zaman bilgileri filtrelenir ve eşleştirilir. Bu kapsamda iki koridor çalışması sunulmuştur: i) Barcelona'daki 11 girişli ve 12 çıkışlı bir çevreyolu (3,10) ve ii) Brisbane'de, 6 MAC adres okuyucusu bulunan bir otoyol ve 29 MAC adres okuyucusu bulunan bir ana koridor (11). Bu çalışmada, bir istasyondaki MAC adres sayısı ve toplam trafik hacmi kullanılarak elde edilen MAC/Hacim oranı ifadesi tanımlanmıştır. Li Jie ve arkadaşları (12), şehiriçinde seyahat süresi ölçümlerinin güvenilirliği konusuna odaklanmış, bunun için Bluetooth okuyucusu ve GPS modülü bulunan bir test aracını birlikte kullanmışlardır. 600 m ve 935 m'lik koridorlardan 1 saatlik veri toplanan çalışmada, yakalanan MAC adresinin bir araca ait olup olmadığı ve bir araçta birden fazla Bluetooth cihazının bulunması gibi belirsizliklerin olduğu sonucuna varılmıştır.

Bluetooth ile 13300 saatten fazla seyahat süresi verisinin toplandığı çok daha kapsamlı bir çalışmada Haghani ve arkadaşları, seyahat süresi tahmininin güvenilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yeni yaklaşımın, yüksek güvenilirlikli seyahat süresi verisinin elde edilmesinde umut verici olduğu sonucuna varılmıştır (13, 14). Bazı araştırmacılar ise konuya ters açıdan bakmış ve filtrelenen veriyi incelemeye çalışmışlardır (4).

Bazı çalışmalar yol kapatılması, yol çalışması gibi nedenlerle trafik atamalarının yeniden düzenlenmesi (5) ya da sinyal sürelerinin optimize edilmesi (16,17) için Bluetooth ile seyahat sürelerinin ölçümüne odaklanmıştır. Başka bir çalışmada ise, Kuzeybatı Indiana'da köprü'nün aniden kapatılması durumunda alternatif rotaların belirlenmesi amacıyla Bluetooth test aracı kullanılarak seyahat süresi ölçümü yapılmıştır (18).

Bluetooth teknolojisinin GÇ tahmininde kullanımı çok daha yeni ve sınırlı bir yaklaşımdır. Blogg ve arkadaşları Brisbane pilot çalışmasında, biri otoyol üzerinde, diğeri anayol trafiğinde olmak üzere iki GÇ çifti için talep tahmini yapmışlardır. Otoyol GÇ tahminleri Otomatik Plaka Tanıma Sistemlerinden (OPTS) ve manyetik detektörlerden alınan trafik hacimleriyle karşılaştırılmıştır. Anayol GÇ tahminlerinde ise kontrol verisi, trafik sayımları ve videolardan göz yordamıyla GÇ matrisi çıkarılmasıyla sağlanmıştır. MAC adreslerinden çıkarılan tahminler OPTS ve video GÇ tahminlerine yakın sonuçlar verse de, MAC sonuçlarının geliştirilmesi gerekmektedir. MAC verisi toplamanın, küçük ve kontrollü ağlarda maliyet- etkin bir yöntem olduğu, büyük ve karmaşık ağlarda ise GÇ tahminini destekleyici olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Barcelona'da yapılan bir koridor çalışmasında (3, 10) seyahat süresi tahmininin yanısıra, yaklaşık 12km uzunluğundaki bir koridorda dinamik GÇ tahmini yapmayı hedefleyen bir simülasyon testi yapılmıştır. Şehiriçinde GÇ tahmini; a) çok sayıda GÇ çifti, b) alternatif rotaların olması, c) tüm GÇ matrisini tanımlayabilmek için çok sayıda Bluetooth cihaza ihtiyaç olduğu için çok daha zor ve karmaşık bir problemdir. Barcelo ve arkadaşlarının (19) şehiriçi çalışmalarında Bluetooth algılayıcıların yerleşim problemi üzerine yaptığı çalışmalar da, MAC adresten GÇ tahmini yapmanın karmaşıklığını göstermiştir. Carpenter ve arkadaşları (20), çok sayıda alternatifin ve çakışan rotanın bulunduğu şehiriçi bölgelerde daha önemli hale gelen rotaya özgü GÇ matris tahmininde algılayıcı yerlerinin belirlenmesi konusuna odaklanmıştır (18).

YÖNTEM

Geliştirilen yöntem temelde şunları kullanmaktadır: i) çalışma alanındaki farklı noktalarda MAC adreslerin tekrar yakalanabilmesi, ii) potansiyel araç hareketlerini diğerlerinden ayırmayı sağlayan bölgesel seyahat karakteristikleri(koridor hızı gibi), iii) seyahat örüntüleri (seyahat rotaları, GÇ matrisi ve koridor seyahat süreleri). Yöntemin ayrıntıları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Adım 1: MAC Adreslerini Eşleştirme: Eğer bir MAC adres sadece bir okuyucu tarafından okunmuşsa, bu verinin sabit duran bir Bluetooth cihaz mı, bölge etrafında hareket eden bir nesne mi olduğunu anlamak mümkün değildir. Bu yüzden, seyahat bilgisi üretilebilmek için aynı MAC adresinin çalışma alanındaki en az iki noktada okunmuş olması gerekmektedir. Tablo1'deki örnekte, "00:0D:18:A0:0C:68" MAC adresi J1 ve J4 kavşaklarında görülmüştür.

Tablo 1 Dört noktada okunan MAC adres örnekleri

@J1	@J4
"2012-04-07 16:22:05", "A0:71:A9:42:84:C2", "- "2012-04-07 16:22:07", "00:0D:18:A0:0C:68", "- "2012-04-07 16:22:08", "6C:83:36:2E:08:20", "-	"2012-04-07 16:24:43", "00:E0:0C:57:48:3D", " "2012-04-07 16:24:43", "00:0D:18:A0:0C:68", " "2012-04-07 16:24:49", "00:2F:6D:6D:00:66", "
	"2012-04-07 16:23:14", "28:D1:AF:4F:FB:A1", " "2012-04-07 16:23:15", "00:02:C7:F7:75:85", " "2012-04-07 16:23:15", "78:CA:04:09:C6:8D", "
@J6	@J7
"2012-04-07 16:19:24", "60:A4:C1:70:66:12", "- "2012-04-07 16:19:26", "00:02:C7:F7:75:85", "- "2012-04-07 16:19:28", "00:07:80:9B:8C:AB", "	"2012-04-07 16:18:46", "3C:8B:FE:4E:FE:1F", " "2012-04-07 16:18:49", "00:02:C7:F7:75:85", " "2012-04-07 16:18:52", "04:AS:2A:E6:C8:71", "

Adım 2: Araç Hareketlerinin Tespiti: Ardışık kavşaklarda aynı MAC adresin gözlenmesi bu kavşaklar arasında bir hareket olduğunu gösterir. Ancak Bluetooth özelliği olan bir cihazın şehiriçindeki hareketi Bluetooth cihazı olan yaya ya da bisiklet sürücüsü anlamına da gelebileceğinden, yakalanan hareketlerin sadece bir kısmı araç hareketini ifade edecektir. Araç hareketlerini diğerlerinden ayırmanın en kolay yolu, ardışık MAC adres okuyucuları arasında ortalama koridor hızlarını bulmak ve uygun bir alt limit (ya da seyahat süresi için üst limit) belirleyerek araç hareketlerine bu limite göre karar vermektir. Örneğin; Tablo 1'deki ARAÇ1, J1 ve J4 kavşaklarında 16:22:07 ve 16:24:43 anlarında gözlenmiştir. J1 ile J4 kavşakları arasındaki mesafenin 1381m olduğu düşünülürse, bu hareketin yaklaşık 32 km/saat hıza sahip bir araç olduğu tahmini yapılabilir.

Adım 3: GÇ Matrisi Tahmini: Ardışık iki Bluetooth okuyucu verisi her zaman gerçek seyahat bilgisini vermeyebilir. Bir araç, Tablo 1'deki ARAÇ2 gibi, ikiden fazla okuyucudan geçen bir rota izleyebilir. Bu yüzden bir aracın rotasının belirlenmesi gerçek GÇ noktalarının belirlenmesi için önemlidir. Aracın rotasını belirlerken, yakalandığı noktaya komşu olan Bluetooth okuyucuların zaman bilgileri de incelenerek

devamlılık olup olmadığı kontrol edilir. Eğer ardışık okumalar arasındaki hızlar belirlenen eşik değerinin altındaysa bu hareketler tek bir seyahat olarak düşünülür. Eğer tahmin edilen seyahat süreleri eşik değerinin üstündeyse araçların park ettiği ya da daha uzun bir rota izlediği düşünülebilir. Toplanan veri uzamsal ve zamansal boyutta bu şekilde kontrol edilerek, araç hareketlerinin gerçek giriş ve çıkış noktalarını tespit etmek mümkündür. Son olarak, aynı GÇ noktaları arasındaki tüm seyahat miktarları toplanarak GÇ matrisi elde edilir. GÇ matrisinin boyutu, çalışma için gerekli olan en az Bluetooth okuyucu sayısını da göstermektedir; bu yüzden otoyol koridorlarında GÇ tahmini yapılırken Bluetooth okuyucuları tüm giriş ve çıkış noktalarına yerleştirmek gerekmektedir.

Adım 4: Koridor Seyahat Sürelerinin Hesaplanması: Ardışık iki okuyucu tarafından yakalanan cihazların seyahat süreleri, araç hareketlerini tespit edebilmek için 2. adımda hesaplanmış olup bu sürelerin analizi ortalama koridor seyahat süresi, iki istikamet arasındaki fark, koridor boyunca hız dağılımındaki değişkenlik gibi koridor karakteristikleri hakkında fikir vermektedir. Ayrıca, hafta içi ve hafta sonu günleri seyahat süreleri karşılaştırılarak zirve saat yoğunluğunun etkileri gözlemlenebilir.

PİLOT ÇALIŞMA: ETLİK BÖLGESİNDE GÇ MATRİSİ VE ORTALAMA SEYAHAT SÜRESİ TAHMİNİ

Pilot çalışmanın amacı, seçilen dört kavşak arasındaki trafik akımına ait GÇ matrisinin ve bölgeyi (Şekil 1) çevreleyen iki koridorun seyahat sürelerinin tahminidir. Bluetooth verisi toplanmadan önce, çalışma alanının etrafındaki 10 kavşakta, iki haftasonu sabah, öğle ve akşam periyotları boyunca trafik sayımları alınmıştır ve bölgedeki ana giriş ve çıkış akımları J1, J4, J5, J6, J7 ve J10 kavşaklarında gözlenmiştir. Bölge etrafındaki toplam seyahat süresi 8 dk (5,5 km için) olup, bu değer zirve dışı saatlerde 40 km/saat 'lik bir ortalama hıza karşılık gelmektedir. Çalışma alanında oldukça fazla yaya trafiği olmasına rağmen, kavşaklar arasındaki mesafenin fazla olması ve sosyal alanların az olması nedeniyle kavşaklar arası yaya hareketinin sınırlı olduğu gözlenmiştir. Ankara'da neredeyse hiç bisiklet kullanılmamaktadır.

Bluetooth Verisi

Dört Bluetooth okuyucusu, ana akımları yakalayabilmek amacıyla seçilen J1, J4, J6 ve J7 kavşaklarının merkezlerine yerleştirilmiştir. Cumartesi akşamı yapılan çalışmada iki ana koridor olarak, her yönde en az 3 şeridi olan ve orta refüjle bölünmüş (J1-J4) ve (J4-J6) koridorları seçilmiştir.

Tüm cihazlar Sena Technologies, Inc. ürünü olan Sınıf 1 tipi Bluetooth sensörler olup, 300 m çekim gücü sağlayan anteniyle birlikte kullanılmıştır (Şekil 2). Bu çekim alanı, yaklaşık 400mx300m'lik bir alan kaplayan J6 katlı kavşağı da düşünülürken, araç hareketlerini yakalamak için uygun bir değerdir. Etlik çalışmasının esas amacı haftasonu trafik talebine ait GÇ matrisini elde etmek olduğu için, Bluetooth verisi toplama ve yukarıda tartışılan işlerin büyük kısmı çevrimdışı olarak ve otomatize

edilmeksizin yapılmıştır. Bluetooth uygulamasının yapıldığı 17:00-18:00 saat aralığında tüm kavşaklardaki trafik tekrar kayda alınmıştır. Kaydedilen trafik videoları, araba, dolmuş, otobüs ve geniş araç gibi farklı araç tiplerini belirleyebilmek amacıyla deşifre edilmiştir.



Şekil 2 Sınıf 1 Bluetooth okuyucusu (çekim alanı 300m)

MAC Adresi Eşleştirme Sonuçları

Yerleştirilen dört Bluetooth okuyucu arasındaki MAC adres eşleştirme sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Dört noktada yakalanan toplam 1917 tekil MAC adresin sadece 550’si başka bir noktada daha gözlenmiştir. Her kavşak için hesaplanacak MAC/Hacim oranları, Bluetooth teknolojisinin örneklem yeterliliği hakkında fikir vermesi açısından önemlidir. 90 dakikalık gözlem periyodu boyunca alınan trafik sayımları ve yakalanan MAC adresleri (5dk’lık aralıklarla) kullanılarak MAC/Hacim oranları hesaplanmıştır (11). J6 kavşağında hem trafik sayımı hem de MAC adres tespiti beklendiği gibi yüksek olup, MAC/Hacim oranı %9,9 olarak hesaplanmıştır. Bu oran, J4 ve J6 kavşakları için hesaplanan değerlere yakın olup, J1 kavşağında %14,4’lere kadar çıkmıştır. Bu değerler, diğer çalışmalarda rapor edilen yakalama oranları ile uyum göstermektedir (11).

Tablo 2 MAC adresi eşleştirme sonuçları

MAC adresi tespiti		MAC adresi eşleştirme				Eşleştirilmemiş MAC adresleri
kavşak	toplam #	J1	J4	J6	J7	
J1	450		57	21	8	364
J4	481	48		67	8	358
J6	612	22	92		106	392
J7	374	15	23	83		253
Toplam	1917	550				1367

Eşleştirilen 550 MAC adresine ait zaman ve yer bilgisi, önerilen yöntemin 2. ve 3. adımlarına uygun şekilde analiz edilmiştir. Bölge etrafındaki seyahat süresinin 8 dk olduğu düşünülerek, seyahat süresi üst limiti 5 dk alınmış ve koridorlardaki araç hareketleri filtrelenmiştir. 5 dk üst limiti, J1-J4 ve J4-J6 koridorlarında 16,5 km/saat ve 11,5 km/saat'lik hız limitine karşılık gelmektedir. Bir hareketin hızı bu değerlerden azsa, bölge dışına çıkıp giren bir hareket, yaya ya da bisiklet olarak değerlendirilmiş ve GÇ tahminine dahil edilmemiştir.

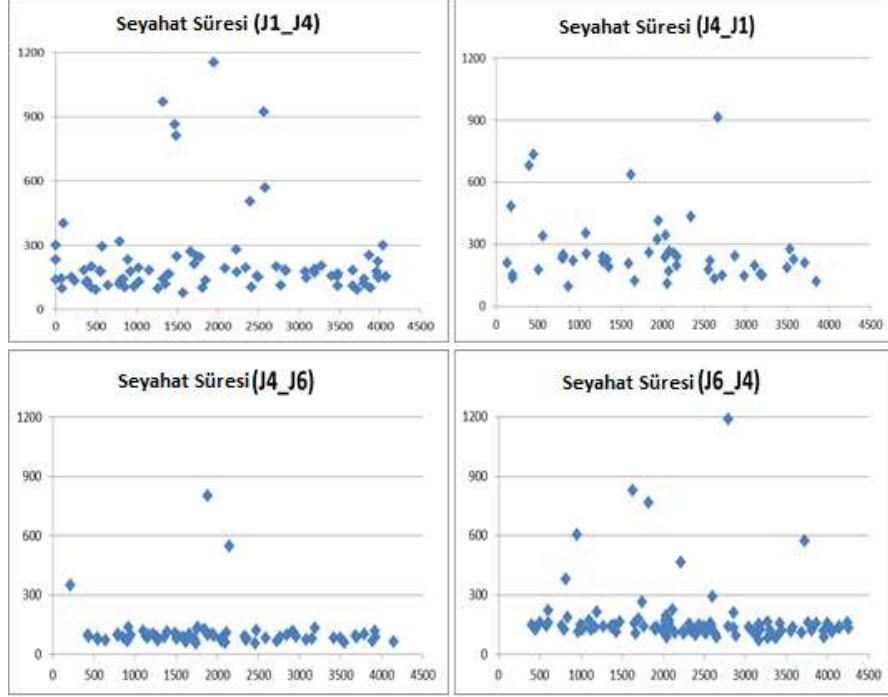
Kalan MAC adres eşleşmeleri de göz yordamıyla kontrol edilerek devamlılık gösteren araç hareketleri tespit edilmiştir. Toplam 444 araç seyahati tespit edilmiş olup, bunların 394'ü iki kavşakta, sadece 50 tanesi üç kavşakta gözlenmiş ve dört kavşakta birden hiç araç gözlenmemiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen GÇ matrisi Tablo 3'te verilmiştir. Verilerde ve örneklemede yanlışlık olması durumunda toplam seyahat sayısına bakmak hatalara neden olabileceğinden, seyahatlerin yüzde dağılımlarına bakmak daha faydalı olacaktır. Bu şekilde, J1-J4 ve J4-J6 kavşakları arasındaki ana akımlar rahatça görülebilir. J6-J7 koridoru transit geçiş yapan araçlar tarafından çok kullanılmakta olup, bu sonuç trafik sayımlarıyla uyum göstermektedir. Bu yüksek talep bölgenin sadece güneydoğu köşesini kullanmasına rağmen, bu kavşaklarda yaşanan sıkışıklık ambulansların sağlık kampüsüne ulaşımını engelleyebilir.

Tablo 3 Etlik çalışması için tahmin edilmiş B-V matrisi

GÇ (sayınlara göre)						GÇ (yüzde dağılıma göre)					
GÇ	J1	J4	J6	J7	Toplam	GÇ	J1	J4	J6	J7	Toplam
J1		44	15	7	66	J1		67	23	11	100
J4	35		63	8	106	J4	33		59	8	100
J6	21	69		91	181	J6	12	38		50	100
J7	6	19	66		91	J7	7	21	73		100
Toplam	62	132	144	106	444						

Çalışma alanının açık bir trafik sistemi olması ve sınırlı sayıda Bluetooth okuyucu kullanılması nedenleriyle, ilk ve son gözlem yerlerinin araçların gerçek giriş ve çıkış noktaları olduğunu söylemek zordur. Bölgedeki potansiyel çıkış noktaları düşünülerek talebin potansiyel varış noktalarına dağıtılması bu konu için alternatif bir yaklaşım olabilir. Verilerde ortak kullanımlı araçların neden olduğu yanlışlığı kontrol etmek için, kavşakları kullanan araçların ne kadarının büyük taşıt ve toplu taşıma araçlarından (halk otobüsü, minibüs, minivan vs.) oluştuğu hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki araçların %5-8'ini bu tip araçlar oluşturmaktadır.

Tüm hareketlerin seyahat süresi analizleri yapılarak 5 dk (300 s) eşik değerinin uygun olup olmadığı doğrulanabilir (Şekil 3). Yatay eksen zaman ekseni olup 90 dakikalık çalışma periyodunu gösterirken, dikey eksen yakalanan hareketlerin saniye cinsinden seyahat sürelerini göstermektedir.



Şekil 3 J1 - J4, ve J4 - J6 koridorlarındaki seyahat süresi dağılımları

Koridor Seyahat Süresi Tahmini

İki koridorun da kısa olması sebebiyle hesaplanan seyahat sürelerinin çoğu 5 dk'nın altında çıkmıştır. (J4→J6) ve (J6→J4) yönlerindeki ortalama seyahat süreleri 110 ve 164 saniye olarak belirlenmiştir. Koridor uzunluğu 964 m olup, yönlerin ortalama hızları 32 ve 21 km/saat olarak hesaplanmıştır. (J1→J4) ve (J4→J1) yönlerinin ortalama hızları ise 23 ve 19 km/saat olarak hesaplanmıştır. (J4-J6) koridorunda seyahat süresi değerleri birbirine yakınken, (J1-J4) koridorunda seyahat sürelerindeki varyansın daha fazla olduğu gözlenmiştir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Önerilen yöntemin güçlü yanı, Bluetooth cihazı aktif olan bir hareketin uzamsal ve zamansal boyutta takip edilebilmesidir. Sıkışık olmayan trafik şartlarında hareket eden araçlar diğerlerinden koridor hızlarına bakılarak ayrıştırılabilmektedir. Ancak bu değerlendirme zirve saatler için doğru sonuç üretmeyebileceğinden, zamana bağlı hız eşik değerleri belirlenip veri buna göre filtrelenmelidir. Bu çalışmanın en kritik noktalarından biri olan örnekleme oranı, bölgede Bluetooth cihazların kullanım oranına bağlıdır. Bluetooth teknolojisini kullanan araç sayısı arttıkça daha güvenilir seyahat

verisi elde edilmesi hedeflenirsen, bir araçta birden fazla aktif Bluetooth cihazının bulunması da potansiyel bir problem olarak değerlendirilmelidir. Bu problemi özel araçlarda yaşama olasılığı düşükken, otobüs, ring gibi toplu taşıma yapan araçlarda yüksektir. İki durumda da GÇ matrisi tahmini bu durumdan etkilenirken, koridor seyahat süresi tahmini etkilenmez. Gelecekte Bluetooth kullanan akıllı araçların ve yolcuların sayısının hızla artacağı düşünülürse, bu problem GÇ tahmini için büyük bir sorun teşkil edecektir.

Bluetooth verisi ile okuyucu yerleri arasında GÇ tahmini yapmak mümkün olsa da, destekleyici veri olmaksızın sonuçların güvenilir olduğunu söylemek çok zordur. Farklı gün ve saatlerde tekrar tekrar veri toplamak, GÇ verisindeki belirsizliği azaltmaya yardımcı olabilir. Etlik çalışmasının trafik simülasyonu ve trafik sayımları ile doğrulanması konusundaki çalışmalar halen devam etmektedir.

Tüm dezavantajlarına rağmen Bluetooth teknolojisi, şehiriçi bölgelerde bile kolay ve ucuz bir alternatif sunmaktadır. Daha kapsamlı uygulamalarda, karmaşık trafik ağlarındaki seyahatlerin tespitinin otomatize edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. AHMED, H.- EL-DARIEBY, M.- MORGAN, Y.- ABDULHAI, B., (2008) A Wireless Mesh Network-Based Platform For ITS. Vehicular Tecnology Conference, 3047-3051.
2. ALIARI, Y.- HAGHANI, A., Using Bluetooth Sensor Data For Ground-Truth Testing Of Reported Travel Times. Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board.
3. ANTONIOU, C.- KOUTSOPOULOS, H.N., (2010) Exploiting Emerging Data Collection Technologies for Dynamic Traffic Management. World Conference On Transport Research Society, 1-16.
4. BARCELÓ, J.- GILLIÉRON, F.- LINARES, M.P.- SERCH, O.- MONTERO, L., (2012) The Detection Layout Problem. Transportation Research Board: Journal Of The Transpotation Research Board, 1-18.
5. BARCELÓ, J.- MONTERO, L.- MARQUÉS, L.- CARMONA, C., (2010) Travel Time Forecasting and Dynamic Origin-Destination Estimation for Freeways Based On Bluetooth Traffic Monitoring. Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board, 19-27.
6. BLOGG, M.- SEMLER, C.- HINGORANI, M.- TROUTBECK, R., (2010) Travel Time And Origin-Destination Data Collection Using Bluetooth MAC Address Reader. Australasian Transport Research Forum 2010 Proceedings, 1-15.
7. BOXEL, D.V.- SCHNEIDER, W.H.- BAKULA, C., (2011) Innovative Real-Time Methodology for Detecting TravelTime Outliers on Interstate Highways and Urban Arterials. Transportation Research Board: Journal Of The Transpotation Research Board, 60-67.
8. BULLOCK, D.M.- HASEMAN, R.- WASSON, J.S.- SPITLER, R., (2010) Automated Measurement of Wait Times at Airport Security. Transportation Research Board: Journal Of The Transpotation Research Board, 60-68.

9. CARPENTER, C.- FOWLER, M.- ADLER, T.J., (2012) Generating Route Specific Origin-Destination Tables Using Bluetooth Technology. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 1-11.
10. DAY, C.M.- HASEMAN, R.- PREMACHANDRA, H.- BRENNAN, T.M.- WASSON, J.S.- STURDEVANT, J.R.- BULLOCK, D.M., (2010) Evaluation of Arterial Signal Coordination. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 37-49.
11. HAGHANI, A.- HAMEDI, M.- SADABADI, K. F.- YOUNG, S.- TARNOFF, P., (2010) Data Collection of Freeway Travel Time Ground Truth with Bluetooth Sensors. Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board, 60-68.
12. HAINEN, A.M.- WASSON, J.S.- HUBBARD, S.M.L.- REMIAS, S.M.- FARNSWORTH, G.D.- BULLOCK, D.M., (2011) Estimating Route Choice and Travel Time Reliability with Field Observations of Bluetooth Probe Vehicles. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 43-50.
13. HASEMAN, R.J.- WASSON, J.S.- BULLOCK, D.M., (2010) Real-Time Measurement of Travel Time Delay in Work Zones And Evaluation Metrics Using Bluetooth Probe Tracking. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 40-53.
14. JAIME, B.B.- LIDIA, M.M.- LAURA, M.- CARLOS, C., (2010) A Kalman-Filter Approach For Dynamic OD Estimation in Corridors Based On Bluetooth And Wi-Fi Data Collection. Conference Report.
15. JIAO, P.- HUAPU, L., (2005) Study On Estimation of Dynamic OD Flows in Freeway Corridors. Networking, Sensing and Control. Proceedings 2005 IEEE, 948-953.
16. JIE, L.- ZUYLEN, Z.V.- CHUNHUA, L.- SHOUFENG, L., (2011) Monitoring Travel Times in an Urban Network Using Video, GPS And Bluetooth. Prodecia-Social And Behavioral Sciences, 630-637.
17. MALINOVSKIY, Y.- SAUNIER, N.- WANG, Y., (2012) Pedestrian Travel Analysis Using Static Bluetooth Sensors. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 1-22.
18. QUAYLE, S.M.- KOONCE, P.- DEPENDICIER, D.- BULLOCK, D.M., (2010) Arterial Performance Measures with Media Access Control Readers. Transportation Research Board: Journal Of The Transportation Research Board, 185-193.
19. RICHARDSON, J.K.- SMITH, B.L.- FONTAINE, M.D.- TURNER, S.M., (2011) Network Stratification Method by Travel Time Variation. Transportation Research Record: Journal of The Transportation Research Board, 1-9.
20. VAN DER ZIJP, N., (1997) Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation From Traffic Counts And Automated Vehicle Identification Data. Transportation Research Record : Journal Of The Transportation Research Board, 1-18.