

# Монголын галт тэрэг, орон нутгийн автобус тээврийн аяллын хуваарь санал болгох нь

Д.Болор<sup>1</sup>, Д.Мэргэнгэрэл<sup>1</sup>, Б.Наранчимэг<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> МУИС, ХШУИС, Мэдээлэл, Компьютерын ухааны тэнхим

Хүлээн авсан 2023.05.01; Хянагдсан 2023.05.15; Зөвшөөрөгдсөн 2023.05.16

\*Холбоо баригч зохиогч: naranchimeg@seas.num.edu.mn

## Хураангуй

Хөгжингүй орнууд хот, хөдөө орон нутгийн нийтийн тээврийн мэдээлэл, цагийн хуваарийг нэгдсэн мэдээллийн сан (Google maps гэх мэт)-д оруулж, гадаад дотоодын жуулчдад утасны аппликейшн ашиглан аяллын маршрут, хугацааг оновчтой төлөвлөх боломжийг олгосон байдаг. Харин Монгол улсын хувьд орон нутгийн тээврийн сүлжээний нэгдсэн мэдээллийн сан байдаггүйгээс хөдөө орон нутагт аяллын маршрут төлөвлөхөд хүндрэл учирдаг. Нөгөөтгээгүүр, жил ирэх тусам монголын хүн ам нэмэгдэж, хөдөө орон нутаг руу зорчих иргэдийн тоо нэмэгдэхийн сацуу монголыг зорин ирэх жуулчдын тоо ч нэмэгдэж байна. Иймд, хөдөө орон нутгийн тээврийн сүлжээний өгөгдлийг нэгтгэн аяллын хуваарийг санал болгох шаардлага бий болж байна.

Бид энэхүү судалгааны ажлаар Монгол улсын орон нутгийн автобус, галт тэрэгний мэдээлэл, цагийн хуваарийн мэдээллийг цуглуулж нэгдсэн сан бий болгон, нийтийн тээврийн цагийн хуваарь болон холбогдох газарзүйн мэдээллийн нийтлэг стандарт болох GTFS-ийн дагуу өгөгдлөө боловсруулж, улмаар аяллын цагийн хуваарь, зогсолт хоорондын зайг олох боломжтой RAPTOR алгоритмыг ашиглан аяллын хуваарь санал болгох аргыг боловсрууллаа. Тодруулбал бид орон зайн суурь өгөгдлийн сангаас автобусны зогсоол болон галт тэрэгний өртөөний байршлын уртраг өргөргийн мэдээлэл бүхий 496 мөр өгөгдөл, автотээврийн үндэсний төвийн онлайн захиалгын системээс Монгол улсын орон нутгийн автобусны эхлэх зогсоол, эцсийн зогсоол, аяллын хуваарийн 5837 мөр өгөгдөл, УБТЗ-ын онлайн захиалгын системээс эхлэх өртөө, эцсийн өртөө, зогсолтын мэдээлэл, аяллын хуваарийн 6209 мөр бүхий галт тэрэгний өгөгдлийг цуглуулж, 2826 мөр, 636 зангилаа, 1413 холбоо бүхий нэгдсэн граф өгөгдлийн санг болгосон. Түүнчлэн RAPTOR алгоритмыг дамжин суулт тооцоход туршиж үзэхэд галт тэрэг, орон нутгийн автобусны зогсолт хооронд дамжин суух боломжтой 24 боломж, цагийн хуваариас шалтгаалж дамжин суух 4 боломж бүхий үр дүн гарсан.

**Түлхүүр үг:** Монголын орон нутгийн тээврийн сүлжээ, нэгдсэн граф, аяллын хуваарь санал болгох, GTFS, RAPTOR алгоритм

## 1 Удиртгал

Интернэт, технологи хөгжсөн өнөө үед Монголоос бусад орнуудад аялахад төрөл бүрийн газрын зураг бүхий гар утасны аппликейшн ашиглан хүссэн газраа зорчих, аялахад хялбар болсон. Гэвч, Монгол улсын орон нутгийн тээврийн сүлжээний мэдээллийн нэгдсэн сан байдаггүй тул хүмүүс (жуулчид, тухайн нутагт очиж байгаа орон нутгийн зорчигч гэх мэт) заавал мэргэжлийн хүнд хандан лавлагаа авч байж зорчих шаардлагатай болдог.

Нөгөөтгээгүүр, Монгол улсын тээврийн салбарын 2021 оны тайлангаас [1] харвал цар тахлын өмнө буюу 2018, 2019 онд жилд давхардсан тоогоор ойролцоогоор 2 ба түүнээс дээш сая хүн хөдөө орон нутаг руу галт тэргээр зорчсон ба 2023 оны 3 сарын байдлаар монгол улсын хилээр орж ирсэн жуулчдын тоо өдөрт 2000 болон түүнээс дээш байна. Иймд хөдөө орон нутгийн тээврийн сүлжээний мэдээллийг нэгт-

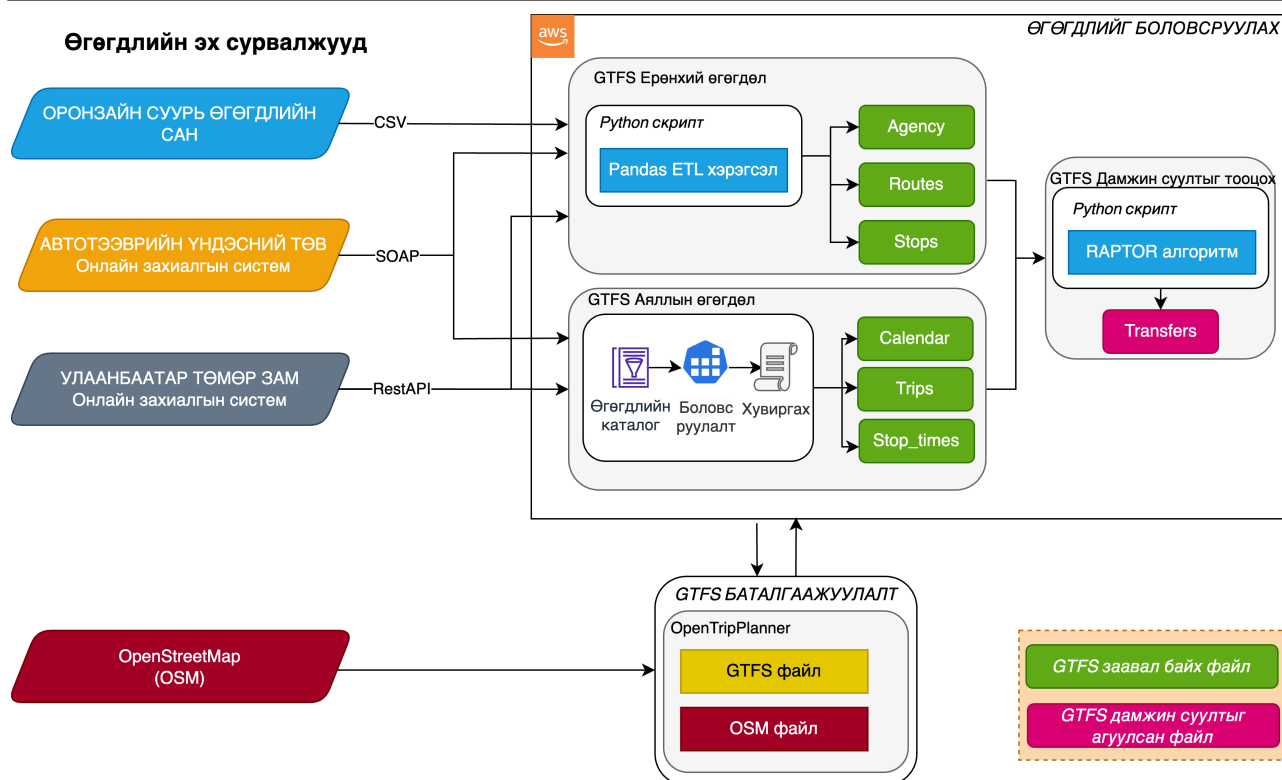
гэн аяллын хуваарь санал болгох шаардлага зайлшгүй бий болж байна.

Аяллын хуваарь зохиоход зайлшгүй олон эх сурвалжаас мэдээлэл цуглуулах шаардлага гардаг. Монгол орны хувьд Орон зайн суурь өгөгдлийн сан<sup>1</sup> дээр галт тэрэгний замын зураг, УБТЗ-ын онлайн билет захиалгын вэбсайт<sup>2</sup> болон Авто тээврийн үндэсний төвийн онлайн билет захиалгын вэбсайт<sup>3</sup> байдаг ба тус вэбсайтуудаас орон нутгийн автобусны чиглэл, галт тэрэгний өртөө, хөдлөх цагийн мэдээллийг харах боломжтой байдаг. Гэвч орон нутгийн чиглэлийн мэдээллүүдийг нэгтгэсэн газрын зураг болон нэг цэгээс нөгөө цэг хүртэлх аяллын маршрутыг санал болгодог мэдээллийн вэбсайт, аппликейшн байдаггүй. Мөн галт тэрэг, орон нутгийн автобус тээврийн аяллын өгөгдлийг нэгт-

<sup>1</sup><https://nsdi.gov.mn/>

<sup>2</sup><https://www.ubtz.mn/>

<sup>3</sup><https://www.transdep.mn/>



Зураг 1: Өгөгдөл нэгтгэн граф үүсгэх, GTFS стандартын дагуу өгөгдлөө боловсруулах, аяллын хуваарь санал болгох аргын ерөнхий бүдүүвч

гэхэд өгөгдлийн дутуу байдал, хамаарал тооцох, дамжин суултыг тооцоход хүндрэл байгаа нь ажиглагдсан тул бид Монголын галт тэрэг, орон нутгийн автобус тээврийн өгөгдлийг цуглуулж, нэгтгэн, улмаар аяллын хуваарь санал болгох судалгааны ажил хийхийг зорив.

General Transit Feed Specification (GTFS) [2] нь нийтийн тээврийн агентлагуудад тээврийн мэдээллээ олон төрлийн программ хангамжид ашиглах боломжтой форматаар нийтлэх боломжийг олгодог өгөгдлийн тодорхойлолт бөгөөд уг стандартыг дэлхий даяар нийтийн тээврийн гол өгөгдлийн стандарт болгон ашигладаг. Гэтэл Монголын нийтийн тээврийн агентлагууд энэ стандартыг дагадаггүй. Иймээс бид энэхүү ажлаар өөр өөр стандартын өгөгдлүүдийг нэгтгэн цуглуулж, GTFS стандартын дагуу өгөгдлөө боловсруулах, уг өгөгдөлд суурилан аяллын хуваарь санал болгох ажлыг амжилттай гүйцэтгэлээ.

Монголын нийтийн тээврийн хөгжилд бидний оруулж буй хувь нэмрийг бид дараах байдлаар дүгнэж байна. Үүнд:

- Монгол улсын автобус, галт тэрэгний чиглэлийн мэдээлэл, цагийн хуваарийн мэдээллийг цуглуулж нэгдсэн граф бий болгов.
- Олон улсад мөрддөг стандарт болох GTFS-ийн дагуу өгөгдлийг бэлтгэн гаргав.
- Монгол улсын орон нутгийн өгөгдөлд аяллын

хуваарь санал болгох ажлыг анх удаа амжилттай туршив.

Зураг 1-д бидний судалгааны ажлын ерөнхий бүдүүвчийг үзүүлэв.

Энэ өгүүллийн хоёрдугаар бүлэгт дотоодод болон олон улсад хийгдсэн ижил төстэй ажлын талаар тайлбарласан. Гуравдугаар бүлэгт Монгол улсын орон нутгийн автобус, галт тэрэгний чиглэл, цагийн хуваарийн мэдээллийг цуглуулж, нэгтгэн, аяллын хуваарь санал болгох аргын талаар, харин дөрөвдүгээр бүлэгт нэгдсэн мэдээллийн сан болон аяллын хуваарь санал болгох туршилтын үр дүнгийн талаар тайлагнасан болно. Эцэст нь судалгааны ажлын дүгнэлтийг танилцуулна.

## 2 Судлагдсан байдал

Олон улсад болон дотоодод GTFS стандартын дагуу өгөгдлөө бэлтгэх, аяллын хуваарь санал болгох олон тооны судалгаа [3–6] сүүлийн жилүүдэд хийгдсэн байдаг. Энэ хэсэгт бид энэ салбарын чиг хандлага болон бидний аргын ялгааг онцлох болно.

Монгол улсын хувьд УБТЗ<sup>4</sup>, авто тээврийн үндэсний төв<sup>5</sup> өөрийн өдөр тутмын үйл ажиллагаандаа автобус, галт тэрэгний чиглэлтэй холбоотой өгөгдлийн санг тогтмол хэрэглэж байна. Хэдий тийм боловч, галт тэрэг, орон нутгийн автобусны системүүд

<sup>4</sup><https://eticket.ubtz.mn/>

<sup>5</sup><https://www.transdep.mn/>

нь нэг нийтлэг хязгаарлалттай байдаг. Тэд зөвхөн өөрсдийн систем доторх маршрутын төлөвлөлтийг санал болгодог сул талтай. 2023 оны 4 сарын эхээр ОХУ-ын иргэн Александр Бакалов<sup>6</sup> Улаанбаатар хотын автобусны өгөгдлийг GTFS стандартын дагуу бэлтгэн, Google maps дээр амжилттай оруулж Улаанбаатар хотын иргэдэд хотоор оновчтой зорчих боломжийг олгосон нь том шинэчлэлт болж чадсан.

Өмнөх судалгаануудад улс орнууд өөрсдийн хотуудын нийтийн тээврийн сүлжээний мэдээллийн нэгдсэн системийг үүсгэсэн байдаг. Жишээ нь: [3] судалгаанд Швейцарын Цюрих хотын 609 зам, 1102 зангилаа бүхий граф сан байгуулсан бол [4] судалгаанд Уганда улсын Кампала хотын нийтийн тээврийн сүлжээг үүсгэсэн байна.

Нийтийн тээврийн цагийн хуваарийн стандарт болох GTFS-ыг нийтийн тээврийн үйлчилгээг сайжруулахад ашигласан судалгаануудыг [5, 7, 8]-д хийсэн байна. Тухайлбал, [5]-т GTFS нь граф өгөгдлийн сан болох Neo4j<sup>7</sup>-тэй хэрхэн хамтарч ажиллаж, Нью-Йорк хотын тээврийн газрын үйл ажиллагааг сайжруулах боломжтой талаар судалсан байна. Харин [7] нь GTFS стандартад зориулсан өгөгдөл дүрслэх хэрэгслийг хөгжүүлэн Канадын Калгари (Calgary) хотын өгөгдөлд туршсан байна. Уг судалгаатай харьцуулахад энэхүү өгүүлэл нь олон эх сурвалжуудаас түүхий өгөгдлийг боловсруулж, дамжин суултыг тооцож GTFS стандартад оруулсан ба улмаар уг стандартын өгөгдлийг ашиглан хэрэглэгчид аяллаа төлөвлөх боломж байгаа эсэхийг туршсан болно.

Түүнчлэн [8] судалгаанд дамжин суулт (транзит) болон интермодальн (олон төрлийн тээврийн хэрэгслийг илэрхийлнэ) агентлагуудад нээлттэй GTFS өгөгдлийг хөшүүрэг болгож, олон нийтэд болон тэдний дотоод үйл ажиллагаанд олон шинэ төрлийн мэдээллийн үйлчилгээ үзүүлэх олон боломжуудыг тоймлон харуулсан байна.

Дээрх судалгааны ажлуудаас харахад тодорхой газар зүйн байршил, хотын үйлчилгээг сайжруулах зорилготой ажлууд байгаа бөгөөд бидний ажил нь Монгол улсын хөдөө орон нутгийн аяллын үйлчилгээг сайжруулах зорилготой болно.

Нийтийн тээврийн аяллын хуваарь төлөвлөх алгоритмуудын тоймоос [9] харахад бидний судалгааны ажилдаа ашигласан RAPTOR [10] алгоритм нь энгийн өгөгдлийн бүтэц болон санах ойн оновчтой байршилтай байдгаараа онцлог бөгөөд түгээмэл хэрэглэгддэг, классик алгоритм юм.

### 3 Арга зүй

Бидний санал болгож буй Монголын орон нутгийн аяллын хуваарь санал болгох аргын бүдүүвчийг Зу-

раг 1-д үзүүлэв. Уг бүдүүвч нь (1) Өгөгдлийн эх сурвалж, (2) GTFS ерөнхий өгөгдлийг бэлдэх, (3) GTFS аяллын өгөгдлийг бэлдэх, (4) GTFS дамжин суултыг тооцоолох, (5) GTFS баталгаажуулалт гэсэн үндсэн хэсгүүдээс бүрдсэн.

#### 3.1 Өгөгдлийн эх сурвалж

Судалгааны ажлын хүрээнд өгөгдлөө 4 эх үүсвэрээс цуглуулсан. Үүнд:

- Оронзайн суурь өгөгдлийн сан<sup>8</sup>. Тус нээлттэй өгөгдлийн сангаас автобус, галт тэрэгний зогсолт, өртөөний байршлын 496 мөр өгөгдлийг;
- Автотээврийн үндэсний төв<sup>9</sup>. Тус мэдээлэл солилцооны системээс аяллын эхлэх зогсоолын жагсаалт, аяллын хүрэх зогсоолын жагсаалт, аяллын жагсаалт, чиглэлд хамаарах зогсоолын 5837 мөр өгөгдлийг;
- Улаанбаатар төмөр зам<sup>10</sup>. Тус вэбсайтаас аяллын эхлэх зогсоолын жагсаалт, аяллын хүрэх зогсоолын жагсаалт, аяллын эхлэл, хүрэх зогсоолоос хамаарах хуваарийн жагсаалт, аяллын жагсаалт болон чиглэлд хамаарах зогсоолын 6209 мөр өгөгдлийг;
- OpenStreetMap(OSM)<sup>11</sup>. Тус вэбсайтаас OpenTripPlanner-д ашиглах Монгол улсын OSM оронзайн 54.2MB багтаамжтай өгөгдлийг;

тус тус цуглуулав.

Түүнчлэн Автотээврийн үндэсний төвийн системээс авч буй өгөгдлийн дэлгэрэнгүйг *Хүснэгт 1*, Улаанбаатар төмөр замын вэбсайтаас авч буй өгөгдлийн дэлгэрэнгүйг *Хүснэгт 2*-т тус тус үзүүлэв.

#### 3.2 GTFS ерөнхий өгөгдлийг бэлдэх

GTFS Ерөнхий өгөгдөл боловсруулахдаа Оронзайн суурь өгөгдлийн сан, Автотээврийн үндэсний төв, Улаанбаатар төмөр замаас CSV, SOAP(XML), RestAPI(JSON) формат хэлбэрээр өгөгдлийг цуглуулсан. Цуглуулсан өгөгдлийг python суурьтай Pandas ETL хэрэгсэл ашиглан өгөгдлийг задалж, хувиргаж, холбоотой өгөгдлийг нэгтгэсэн. Нэгдсэн өгөгдлийг Memgraph<sup>12</sup> граф өгөгдлийн санд хадгалж граф дүрслэлээр өгөгдлийг шалгасан ба гарсан үр дүнг *Зураг 2*-оос харна уу. Энэхүү граф сангаас *agency, routes, stops* файлуудыг бэлтгэж авсан.

Монголын галт тэрэг, орон нутгийн автобус тээврийн цагийн хуваарь, чиглэлийн өгөгдлийг агуулдаг

<sup>8</sup><https://nsdi.gov.mn/>

<sup>9</sup>[https://service.transdep.mn/api/WS007\\_ETICKET.php?wsdl/](https://service.transdep.mn/api/WS007_ETICKET.php?wsdl/)

<sup>10</sup><http://eticket.ubtz.mn/>

<sup>11</sup><http://download.geofabrik.de/asia/mongolia.html>

<sup>12</sup><https://memgraph.com/>

<sup>6</sup>[https://unread.today/c/techworm-aleksandr?fbclid=IwAR07d3oqHztk01TYEoF2j0aJoRi1vcmBV4oNU1rORqwi\\_aaMFf7Ch8pVTWw](https://unread.today/c/techworm-aleksandr?fbclid=IwAR07d3oqHztk01TYEoF2j0aJoRi1vcmBV4oNU1rORqwi_aaMFf7Ch8pVTWw)

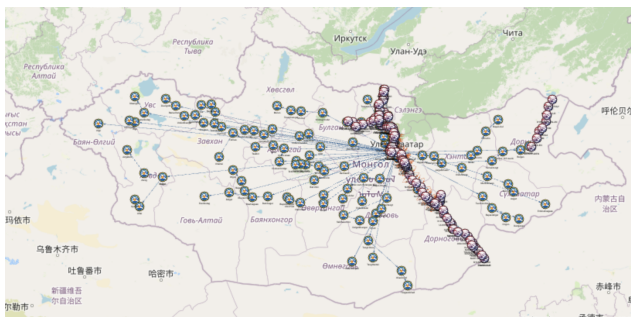
<sup>7</sup><https://neo4j.com/>

Хүснэгт 1: Автотээврийн үндэсний төвийн системийн өгөгдлийн бүрдэл

| №   | Сервисийн нэр    | Тодорхойлолт                        |
|-----|------------------|-------------------------------------|
| 3.1 | getStartStopList | Аяллын эхлэх зогсоолын жагсаалт     |
| 3.2 | getEndStopList   | Аяллын хүрэх зогсоолын жагсаалт     |
| 3.3 | getTravelList    | Аяллын жагсаалт                     |
| 3.4 | getTravelData    | Чиглэлд хамаарах зогсоолын мэдээлэл |

Хүснэгт 2: Улаанбаатар төмөр замын өгөгдлийн бүрдэл

| №   | Сервисийн нэр   | Тодорхойлолт                                               |
|-----|-----------------|------------------------------------------------------------|
| 3.5 | getFromStations | Аяллын эхлэх зогсоолын жагсаалт                            |
| 3.6 | getToStations   | Аяллын хүрэх зогсоолын жагсаалт                            |
| 3.7 | getDates        | Аяллын эхлэл, хүрэх зогсоолоос хамаарах хуваарийн жагсаалт |
| 3.8 | searchTrain     | Аяллын жагсаалт                                            |
| 3.9 | getVoyageStops  | Чиглэлд хамаарах зогсоолын мэдээлэл                        |



Зураг 2: Орон нутгийн галт тэрэг, автобусны нэгдсэн граф. Энд улаан өнгөөр галт тэрэгний өртөө, цэнхэр өнгөөр автобусны зогсоолуудыг тэмдэглэв.

2 агентлаг байдаг ба GTFS-ын дагуу *agency.txt* файлыг өгөгдлөө хэрхэн бэлдсэнийг Зураг 3-ын Нийтийн тээврийн үйлчилгээ үзүүлэгч агентлагийн мэдээллийг агуулах GTFS.agency.txt хэсэгт үзүүлэв.

Галт тэрэгний орон нутгийн 14 чиглэл байдаг ба уг өгөгдлийг Хүснэгт 2-ийн 3.8, 3.9 сервисээс авсан ба автобусны чиглэлийг тодорхойлохын тулд Хүснэгт 1-ийн 3.3, 3.4 сервисийг ашиглан сүүлийн 2 сарын хугацааны аяллын хуваариас боловсруулалт хийж, нийт 95 чиглэлийг тодорхойлон *routes.txt*-ыг тодорхойлов. Жишээ үр дүнг Зураг 3-ын Чиглэлийн мэдээллийг агуулах GTFS.routes.txt хэсэгт харуулав.

Галт тэрэгний өртөө, орон нутгийн автобусны зогсоолын өгөгдлийг Хүснэгт 2-ын 3.5, 3.6 болон Хүснэгт 1-ийн 3.1, 3.2 сервисийг ашигласан. Байршлын өгөгдлийг цуглуулахдаа орон зайн суурь өгөгдлийн сангаас өргөрөг, уртрагийн өгөгдлийг авч цуглуулсан ба автобусны зогсолтыг "В"үсгээр тэмдэглэв. Жишээг Зураг 3-н Галт тэрэгний өртөө, автобусны зогсоолын өгөгдлийг агуулах GTFS.stops.txt хэсэгт үзүүлэв.

### 3.3 GTFS аяллын өгөгдлийг бэлдэх

Авто тээврийн үндэсний төв, Улаанбаатар төмөр замаас аяллын өгөгдөлд өөрчлөлт ороход GTFS Аял-

лын өгөгдлөө шинэчлэх шаардлага үүсдэг. Үүнийг хийхийн тулд өгөгдөл шинэчлэх үед ажиллах байдлаар AWS GLUE<sup>13</sup> ETL ашигласан ба Зураг 1-д үзүүлсэн процессын дагуу ажиллуулсан үр дүнд *calendar*, *trips*, *stop\_times* файлуудыг бэлтгэж авсан.

Галт тэрэг нь автобуснаас ялгарах онцлог нь өвөл, зуны хуваарьтай ба хуваарь нь тогтмол байдаг. Хуваарийн өгөгдлийг GTFS *routes.txt* өгөгдлөөс галт тэрэгний чиглэлүүдийн гарагийн Хүснэгт 2-ын 3.7 сервисийг ашиглан цуглуулсан. GTFS *calendar.txt*-ийн жишээг Зураг 3-ын Хуваарийн өгөгдлийг агуулах GTFS *calendar.txt* хэсэгт үзүүлэв. Автобусны Хүснэгт 1-ийн 3.3 сервисийг ашиглаж гаргаж авсан аяллын хуваарийн өгөгдлөөс GTFS *calendar.txt* хэрэгтэй гарагийн мэдээлэл хувиргаж авах жишээг Зураг 4-т үзүүлэв. Чиглэл бүрээр явах өдрүүдийг бүлэглэж, бүлэглэсэн өдрүүдээс аль гараг гэдгийг тодорхойлж, улмаар давтагдсан гарагийг хассан.

Нэг удаагийн аяллын мэдээлэл бүхий GTFS *trips.txt* файл бэлдэхийн тулд *routes.txt* болон *calendar.txt* файлуудын өгөгдлийн хоорондох чиглэл болон цагийн хуваарийн хамаарлыг холбож гаргасан болно. Эдгээр файлуудын өгөгдлөөс гаргасан *trips.txt* жишээг Хүснэгт 3-д харуулав.

Цагийн хуваарь, чиглэл, хөдлөх огноо, очих огноо, зогсолтын өгөгдөл агуулсан GTFS *stop\_times.txt* файлыг дараах дарааллын дагуу бэлтгэсэн ба жишээг Хүснэгт 4-д харуулав. Үүнд:

- (1) Чиглэл доторх зогсолт болон зогсолтын дараалал олох
- (2) Хөдлөх зогсолтын хөдлөх огноо оруулах
- (3) Хөдлөх зогсолтын зогсоолын дугаарыг холбох
- (4) Очих зогсолт хүртэлх зарцуулах хугацааг тооцоолох

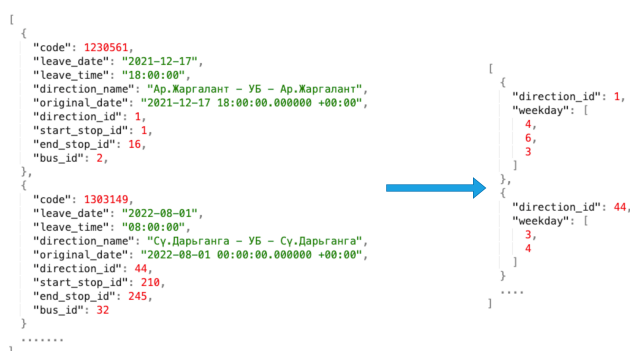
<sup>13</sup><https://aws.amazon.com/glue/>

| Нийтийн тээврийн үйлчилгээ үзүүлэгч агентлагийн мэдээллийг агуулах GTFS agency.txt |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------|-------------|-----|-----|-----|------------|----------|
| agency_id                                                                          | agency_name                          | agency_url                   | agency_timezone  | agency_lang |     |     |     |            |          |
| ubtz                                                                               | Ulaanbaatar tumur zam HNN            | https://eticket.ubtz.mn/     | Asia/Ulaanbaatar | MN          |     |     |     |            |          |
| autoteever                                                                         | Auto teeveer                         | https://eticket.transdep.mn/ | Asia/Ulaanbaatar | MN          |     |     |     |            |          |
|                                                                                    |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| Чиглэлийн мэдээллийг агуулах GTFS routes.txt                                       |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| route_id                                                                           | route_short_name                     | route_long_name              | route_type       | agency_id   |     |     |     |            |          |
| 276                                                                                | UB-ZU                                | ULAANBAATAR-ZAMIIN UUD       | 1                | ubtz        |     |     |     |            |          |
| B1                                                                                 | UB-Ar.Jargalant                      | Ulaanbaatar-Ar.Jargalant     | 3                | autoteever  |     |     |     |            |          |
|                                                                                    |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| Галт тэрэгний өртөө, автобусны зогсоолын өгөгдлийг агуулах GTFS stops.txt          |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| stop_id                                                                            | stop_id                              | stop_lat                     | stop_long        |             |     |     |     |            |          |
| 37                                                                                 | ULAANBAATAR                          | 47.9085106                   | 106.8837656      |             |     |     |     |            |          |
| B1                                                                                 | Songino-khairkhanDragon Bus Terminal | 47.9105784                   | 106.8151975      |             |     |     |     |            |          |
|                                                                                    |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| Хуваарийн өгөгдлийг агуулах GTS calendar.txt                                       |                                      |                              |                  |             |     |     |     |            |          |
| service_id                                                                         | mon                                  | tues                         | wed              | thurs       | fri | sat | sun | start_date | end_date |
| 276-2023-04-23                                                                     | 1                                    | 1                            | 1                | 1           | 1   | 1   | 1   | 20230423   | 20230924 |
| B1-2023-04-23                                                                      | 0                                    | 0                            | 0                | 1           | 1   | 0   | 1   | 20230423   | 20230924 |

Зураг 3: GTFS өгөгдлийг бэлтгэх

Хүснэгт 3: Аяллын мэдээлэл бүхий GTFS trips.txt

| route_id | service_id     | trip_id      | direction_id |
|----------|----------------|--------------|--------------|
| 276      | 276-2023-04-23 | 37-19-276    | 0            |
| B1       | B1-2023-04-23  | B1-1800-TRIP | 0            |



Зураг 4: Автобусны аяллын хуваариас цагийн мэдээлэл гаргаж авах

цагийн хуваариас шалтгаалах дамжин суултын мэдээлэл байх ба үүнийг зөв тодорхойлж өгснөөр боломжит бүх аяллын маршрутыг санал болгох боломжтой болно. Үүний тулд дараах дарааллаар боловсруулав. Үүнд:

- (1) GTFS өгөгдлөөс зогсолт, чиглэл, цагийн хуваарь, цагийн хуваарьтай хамаарах аяллын өгөгдлийг цуглуулах
- (2) 2 чиглэл хооронд хүлээх хамгийн бага хугацааг 10 минут байхаар тооцох [12]
- (3) 2 зогсолт хооронд дамжин суух зайг 1000 метр байхаар тооцох [12]
- (4) 2 зогсолт хооронд алхах боломжтой эсэхийг шалгах [13]
- (5) RAPTOR ашиглан турших [13]
- (5) Очих зогсолтын хөдлөх огноо оруулах
- (6) Очих зогсолтын зогсоолын дугаарыг холбох
- (7) trips.txt холбогдох trip\_id холбож өгөх

### 3.4 GTFS дамжин суултыг тооцоолох

GTFS дамжин суултыг тооцоход инженерүүдийн хамгийн сайн мэдэх Dijkstra [11] алгоритмын хувьд нэг цэгээс нөгөө цэг хүртэлх хамгийн боломжит дөт очих боломжтой сонголтыг харуулдаг боловч цагийн хуваарь оруулан аяллын хуваарь санал болгох боломжоор дутмаг байдаг. Иймд цагийн хуваарьтай хялбар, хурдан ажиллах боломжтой RAPTOR алгоритмыг сонгон авч дамжин суултыг тооцоолсон.

GTFS transfers.txt файл нь 2 зогсолт хооронд дамжин суухад зарцуулах хугацаа, 2 чиглэл хооронд

### 3.5 GTFS баталгаажуулалт

Google Transit<sup>14</sup>, OpenTripPlanner<sup>15</sup> болон бусад GTFS дэмждэг хэрэгсэл, платформ оруулахаас өмнө заавал алдааг шалгасан байх шаардлагатай. Бид туршилтаар Google Transit-ийн санал болгосон Canonical GTFS Schedule Validator<sup>16</sup> хэрэгслийг ашиглаж өөрсдийн бэлдсэн (GTFS-ийн 7 файл) өгөгдлийг шалгасан.

<sup>14</sup><https://developers.google.com/transit>

<sup>15</sup><https://www.opentripplanner.org/>

<sup>16</sup><https://github.com/MobilityData/gtfs-validator>

Хүснэгт 4: Цагийн хуваарь, чиглэл, хөдлөх огноо, очих огноо, зогсолтын өгөгдөл агуулах GTFS stop\_times.txt

| trip_id   | arrival_time | departure_time | stop_id | stop_name   | stop_sequence |
|-----------|--------------|----------------|---------|-------------|---------------|
| 37-19-276 | 16:50:00     | 16:50:00       | 37      | ULAANBAATAR | 1             |
| 37-19-276 | 17:04:00     | 17:08:00       | 3       | AMGALAN     | 2             |
| ...       | ...          | ...            | ...     | ...         | ...           |
| 37-19-276 | 31:20:00     | 31:20:00       | 19      | ZAMIIN-UUD  | 23            |

OpenTripPlanner<sup>17</sup> нь OpenStreetMap (OSM) болон бусад стандартчилсан мэдээллийн эх сурвалж (жишээ нь, GTFS, GBFS, NeTEx) дээр үндэслэн хувь хүмүүс болон байгууллагуудад олон төрлийн аяллын төлөвлөгөөг тооцоолоход тусалдаг нээлттэй эхийн программ хангамжийн бүлэг юм. OpenTripPlanner нь GTFS стандартын өгөгдлийг ашиглахаас гадна, нэмэлт мэдээллийг ашиглан дүн шинжилгээ хийх чадвартай учраас энэхүү судалгаандаа аяллын хуваарь санал болгох хэрэгсэл болгон ашиглалаа.

## 4 Үр дүн

3.1-р хэсэгт тодорхойлсон галт тэрэгний 6209, орон нутгийн автобусны 5837 өгөгдлийг 3.2-р хэсэгт тодорхойлсон ETL хэрэгсэл ашиглан нэгтгэн граф санг байгуулсан ба граф сан дээрх нэгтгэлийн үр дүнг *Зураг 2*-т харууллаа. Memgraph граф өгөгдлийн санд нийт 2,826 мөр, 636 зангилаа, 1,413 холбоо үүссэн.

Memgraph граф өгөгдлийн санд харуулсан үр дүнгээс 3.2-р хэсэгт тодорхойлсон граф өгөгдлөөс хэлбэржүүлээд, экспорт хэрэгсэл ашиглан гаргасан GTFS ерөнхий өгөгдлийн тоог *Хүснэгт 5*-д харуулав.

Энэ үр дүнгээс харахад орон нутгийн автобус нь галт тэрэгнээс хамгийн олон чиглэлд болон хамгийн олон газар хүрдэг нь харагдаж байна.

Галт тэрэгний аяллын хуваарийг *Хүснэгт 2*-ын 3.8, 3.9 сервис, автобусны аяллын хуваарийг *Хүснэгт 1*-ийн 3.3, 3.4 сервисийг ашиглан сүүлийн 2 сарын хугацааны аяллын хуваарийн өгөгдөлд туршилт хийхдээ 3.3-р хэсэгт тодорхойлсон аргачлалыг ашиглан туршихад гарсан GTFS аяллын өгөгдлийн тоог *Хүснэгт 6*-д харуулав.

*Хүснэгт 5* болон *Хүснэгт 6*-аас харахад галт тэрэг нь 3.2-р хэсэгт дурдсан галт тэрэгний чиглэл болон цагийн хуваарь тогтмол байхаар туршилтаар харагдав.

GTFS баталгаажуулалт хийхдээ Canonical GTFS Schedule Validator хэрэгслийг ашиглан Монгол галт тэрэг, орон нутгийн автобусны өгөгдлийг GTFS форматын дагуу боловсруулсан үр дүнг *Зураг 5*-аас харна уу.

### GTFS Schedule Validation Report

341 notices reported (340 warnings, 1 infos)

| Notice Code                             | Severity | Total |
|-----------------------------------------|----------|-------|
| + fast_travel_between_consecutive_stops | WARNING  | 80    |
| + fast_travel_between_far_stops         | WARNING  | 59    |
| + missing_recommended_file              | WARNING  | 1     |
| + missing_timepoint_column              | WARNING  | 1     |
| + route_short_name_too_long             | WARNING  | 78    |
| + stop_without_stop_time                | WARNING  | 113   |
| + unusable_trip                         | WARNING  | 4     |
| + unused_trip                           | WARNING  | 4     |
| + unknown_column                        | INFO     | 1     |

*Зураг 5: Canonical GTFS Schedule Validator ашиглан өгөгдлийн алдааг шалгаж буй байдал.*

OpenTripPlanner-т оруулахын өмнө 3.5-р хэсэгт тодорхойлсноор баталгаажуулалт хийж шалгасан байх хэрэгтэй. OpenTripPlanner ашиглан аялал санал болгох туршилтын үр дүнг (3.4-р хэсэгт заасан дамжин суултыг тооцоолоогүй) *Зураг 6*-д харуулав. Туршилтаар зөвхөн тухайн цагийн хуваариас хамаарах дамжин суултгүй аялал санал болгох боломжтой болно. Жишээ нь Дархан хотоос Улаанбаатар 2023 оны 4 сарын 30 өдрийн 23:45 цагт аялал хайхад Дархан-Улаанбаатар чиглэлийн сүүлийн автобусны аялал 20:00 цагт хөдөлдөг ба галт тэрэг 23:55 цагаас Сүхбаатар-Улаанбаатар чиглэлийн зогсох аялал санал болгож байна. Өөр нэг жишээ нь Шарын голоос Дархан хүртэл галт тэргээр Дарханаас Улаанбаатар хүртэл автобус дамжин суух аялал санал болгох боломжгүй болно. Үүнийг сайжруулахын тулд дамжин суултыг тооцох хэрэгтэй болно.

3.4-р хэсэгт тодорхойлсон дарааллаар дамжин суултыг RAPTOR алгоритм ашиглан тооцоолсон туршилтын үр дүнг *Хүснэгт 7*-д харуулав. Хүснэгтээс харахад галт тэрэг, орон нутгийн автобусны зогсолт хооронд дамжин суух боломжтой 24 боломж, цагийн хуваариас шалтгаалж дамжин суух 4 боломж нийт 28 боломж бүхий үр дүн гарсан ба үүнийг тооцоолоход 0.4ms зарцуулсан. Тооцооллыг 13-inch, 2020 оны Macbook Pro, Apple M1 chip, 16GB үзүүлэлт бүхий нөүтбүүк дээр туршиж гаргасан.

3.4-р хэсгийг ашигласан үр дүнд галт тэрэг, орон нутгийн автобусны зогсолт хооронд дамжин суухаас гадна цагийн хуваариас шалтгаалан дамжин суултыг санал болгох боломжтой болно. Ингэж Монголын галт тэрэг, орон нутгийн автобусны аял-

<sup>17</sup><https://docs.opentripplanner.org/en/dev-2.x/Product-Overview/>

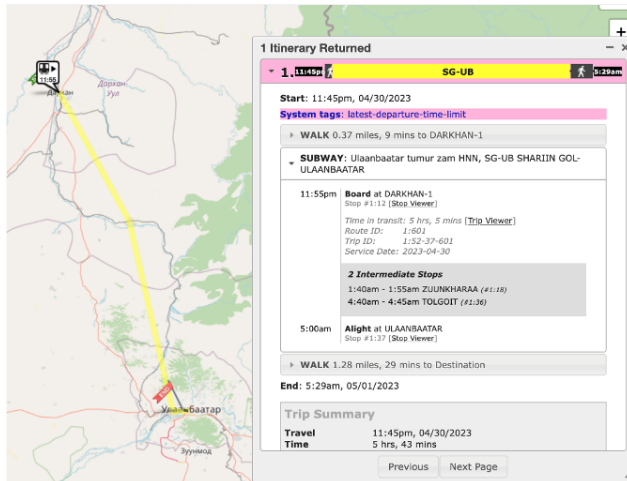


Хүснэгт 5: GTFS ерөнхий өгөгдлийн тоо

|            | agency | routes | stops |
|------------|--------|--------|-------|
| Галт тэрэг | 1      | 14     | 105   |
| Автобус    | 1      | 95     | 219   |

Хүснэгт 6: GTFS аяллын өгөгдлийн тоо

|            | calendar | trips | stop_times |
|------------|----------|-------|------------|
| Галт тэрэг | 14       | 14    | 323        |
| Автобус    | 56       | 327   | 822        |

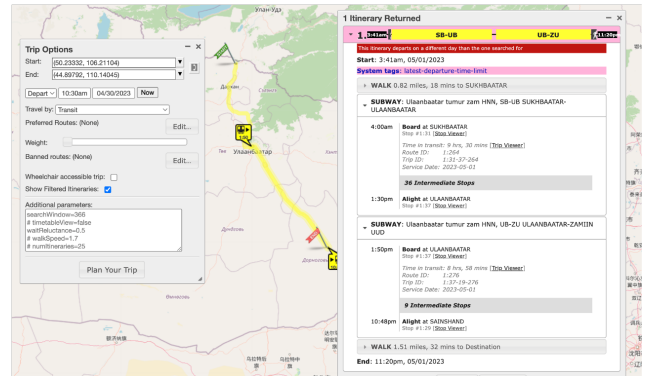


Зураг 6: OpenTripPlanner ашиглан дамжин суултыг тооцоолоогүй үр дүн

лын хуваарь санал болгох үр дүнг Зураг 7-д үзүүлэв. Зургаас харахад Сүхбаатараас Замын-Үүд аялал хайхад Сүхбаатар-Улаанбаатар дээрээс цагийн хуваариас шалтгаалж дараагийн дамжин суух чиглэл Улаанбаатар-Замын-Үүд аялах боломжийг санал болгож байна.

## 5 Дүгнэлт

Энэхүү судалгааны ажлаар Монгол улсын орон нутгийн автобус, галт тэрэгний мэдээлэл, цагийн хуваарийн мэдээллийг цуглуулж нэгдсэн граф өгөгдлийн сан үүсгэн, Google maps-т тээврийн чиглэл, дамжин суултын өгөгдөл оруулах стандарт буюу GTFS (General Transit Feed Specification) рүү хөрвүүлэн, аяллын хуваарь санал болгох ажлыг хийж гүйцэтгэлээ. Судалгааны ажлын хүрээнд бид 2,826 мөр, 636 зангилаа, 1,413 холбоо бүхий граф өгөгдлийн санг үүсгэлээ. Үүний дараагаар GTFS ерөнхий өгөгдөл болон аяллын өгөгдлийг стандартын дагуу бэлтгэн, дамжин суултыг RAPTOR алгоритм ашиглан тооцооллоо. Эцэст нь GTFS баталгаажуулалт хийн алдаагаа шалган өгөгдлөө дахин сайжруулж бэлдсэн. Тус ажлын үр дүнд Монголын орон нутгийн автобус, галт тэрэгний аяллын хуваарийг санал болгох боломжтой болсон юм.



Зураг 7: OpenTripPlanner ашиглан аяллын хуваарь санал болгох үр дүн

Цаашид судлах судлаачдын хувьд тус өгөгдлийг сайжруулан Google maps дээр оруулах боломжтой ба Орон зайн суурь өгөгдлийн сан дээр байгаа нээлттэй өгөгдлийн сангаас аялал жуулчлалын дурсгалт газруудын мэдээллийг авч аяллын чиглэлийн холбоотой мэдээллийг баяжуулах боломжтой болох юм.

## Ашиг сонирхлын зөрчилгүйн баталгаа

Бүх зохиогчид ашиг сонирхлын зөрчилгүй болохыг баталж байна.

## Талархал

Бид энэхүү судалгааны ажлын өгөгдлийг орон зайн суурь өгөгдлийн сан, автотээврийн үндэсний төвийн онлайн захиалгын систем, УБТЗ-ын онлайн захиалгын системээс нээлттэйгээр авч ашиглах боломжтой байсан нь бидний ажилд тус нэмэр болсон тул тус байгууллагын хамт олонд талархал илэрхийлж байна.

## Зохиогчийн оролцоо

Энэхүү өгүүллийн судалгааны ажлыг Д.Болор ба Д.Мэргэнгэрэл нар ижил оролцоотойгоор гүй-

Хүснэгт 7: Raptor алгоритмын үр дүн

|                          | Галт тэрэг | Автотээвэр     |
|--------------------------|------------|----------------|
| Stops                    | 105        | 219            |
| Routes                   | 14         | 95             |
| Trips                    | 14         | 327            |
| Stop Events              | 323        | 822            |
| Raptor алгоритмын үр дүн | 0.4ms хурд | 28 дамжин суух |

цэтгэн туршилтуудыг хийв. Өгүүллийн бичилтийг Б.Наранчимэгийн удирдлаган доор бүх зохиогчид хамтран гүйцэтгэв.

## Ашигласан ном

- [1] Зам, тээврийн салбарын 2022 оны жилийн эцсийн статистик эмхэтгэл - Зам, тээврийн хөгжлийн яам — mrttd.gov.mn; <https://mrttd.gov.mn/i/3348>.
- [2] McHugh B. Pioneering open data standards: The GTFS Story. Beyond transparency: open data and the future of civic innovation. 2013:125-35.
- [3] Avelar S. Visualizing public transport networks: an experiment in Zurich. Journal of Maps. 2008;4(1):134-50.
- [4] Ndibatya I, Booyesen M, Coetzee J. Mapping the informal public transport network in Kampala with Smartphones: Making sense of an organically evolved chaotic system in an emerging city in Sub-Saharan Africa. 35th Southern African Transport Conference; 2016. .
- [5] Vágner A. Route planning on GTFS using Neo4j. In: Annales Mathematicae et Informaticae. vol. 54. Eszterházy Károly Egyetem Líceum Kiadó; 2021. p. 163-79.
- [6] Pereira WI, Chwif L. Generic bus route simulation model and its application to a new bus network development for caieiras city, Brazil. In: 2018 Winter Simulation Conference (WSC). IEEE; 2018. p. 123-34.
- [7] Prommaharaj P, Phithakkitnukoon S, Demissie MG, Kattan L, Ratti C. Visualizing public transit system operation with GTFS data: A case study of Calgary, Canada. Heliyon. 2020;6(4):e03729.
- [8] Antrim A, Barbeau SJ, et al. The many uses of GTFS data—opening the door to transit and multimodal applications. Location-Aware Information Systems Laboratory at the University of South Florida. 2013;4.
- [9] Bast H, Delling D, Goldberg A, Müller-Hannemann M, Pajor T, Sanders P, et al. Route planning in transportation networks. Algorithm engineering: Selected results and surveys. 2016:19-80.
- [10] Delling D, Pajor T, Werneck RF. Round-based public transit routing. Transportation Science. 2015;49(3):591-604.
- [11] Dijkstra EW. A note on two problems in connexion with graphs. In: Edsger Wybe Dijkstra: His Life, Work, and Legacy; 2022. p. 287-90.
- [12] Kujala R, Weckström C, Mladenović MN, Saramäki J. Travel times and transfers in public transport: Comprehensive accessibility analysis based on Pareto-optimal journeys. Computers, Environment and Urban Systems. 2018;67:41-54.
- [13] Delling D, Pajor T, Wagner D. Accelerating multi-modal route planning by access-nodes. In: Algorithms-ESA 2009: 17th Annual European Symposium, Copenhagen, Denmark, September 7-9, 2009. Proceedings 17. Springer; 2009. p. 587-98.