

Улсын бүртгэлийн  
дугаар.....

Нууцын зэрэглэл:

Аравтын бүрэн  
Ангилалын код

Төсөл хэрэгжүүлэх гэрээний  
дугаар : ШуАг-2020/01

**ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ  
МАТЕМАТИК ТООН ТЕХНОЛОГИЙН ХҮРЭЭЛЭН**

**GPS буюу байршил тогтоогч цогц  
хяналтын системийн нарийвчлалыг  
сайжруулж дотоодын зах зээлд  
нэвтрүүлэх нь**

Шинжлэх ухаан технологийн төслийн тайлан  
2021-2023

<b>Төслийн удирдагч:</b>	Д.Ууганбаатар – доктор (Ph.D), дэд проф.
<b>Төслийн гүйцэтгэгч:</b>	О.Бөхцоож – доктор (Ph.D) Ө.Баттулга - бакалавр Б.Нарангий – бакалавр
<b>Санхүүжүүлэгч байгууллага:</b>	Шинжлэх ухаан тенологийн сан
<b>Захиалагч байгууллага:</b>	Шинжлэх ухааны академи
<b>Гүйцэтгэгч байгууллага:</b>	Математик тоон технологийн хүрээлэн. ШУА-ийн Төв байр, Энхтайваны өргөн чөлөө 54б, 14- р хороолол, 13-р хороо, Баянзүрх дүүрэг, Улаанбаатар 13330, Монгол улс

## Оршил

Глобал навигацийн хиймэл дагуулын систем (GNSS) нь сансар огторгуйгаас дохио өгдөг хиймэл дагуулуудын нэгдэл бөгөөд GNSS хүлээн авагчдад байршил, цаг хугацааны өгөгдлийг дамжуулдаг. Дараа нь хүлээн авагчид энэ өгөгдлийг ашиглан байрлалыг олно.

GNSS-ийн гүйцэтгэлийг дөрвөн шалгуураар үнэлдэг.

Нарийвчлал: хүлээн авагчийн хэмжсэн болон газар зүйн байрлал, хурд, цаг хугацааны хоорондох ялгаа;

Найдвартай ажиллагаа: системийн итгэл үнэмшлийн босго тогтоох, байрлалын өгөгдөлд алдаа гарсан тохиолдолд дохиолол өгөх чадвар;

Тасралтгүй байдал: системийн тасалдалгүйгээр ажиллах чадвар;

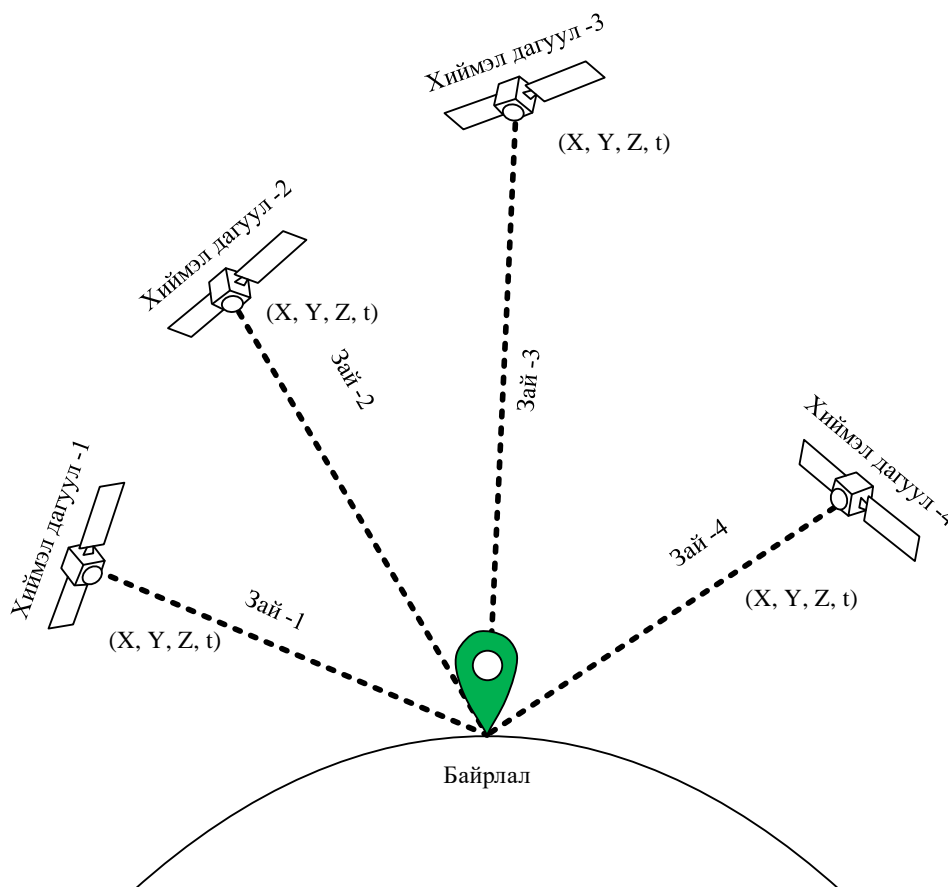
Бэлэн байдал: дээрх нарийвчлал, найдвартай ажиллагаа, тасралтгүй байдлын шалгуурыг ханган ажиллах хугацааны хувь аль болох их байх ёстой.

GNSS нь хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаанаас эхлээд хүнд аж үйлдвэр, сансрын технологид хүртэл хэрэглэгддэг технологи юм. GNSS нь 19000 км орчмын өндөрт байрлах орбиттой хиймэл дагуулуудаас ирэх кодлогдсон радио долгионыг тусгайх хүлээн авагчаар хүлээн авч боловсруулж, хэрэглэгчийн газар дээрх координатыг тодорхойлдог. Ингэхдээ GNSS системийн хиймэл дагуулуудын орбитыг хэрэглэгч 4 хүртэлх хиймэл дагуулыг шууд харж байхаар төлөвлөсөн байдаг (зураг 1). Хиймэл дагуул бүр өөрийн байрлал болон дэлхийн төв хүртэлх зайг мэдэж байгаа ба энэ мэдээллийг байнга дамжуулна. Энэ мэдээллийн тусламжтайгаар хүлээн авагч нь өөрийн байрлалыг тодорхойлно. Газар дээрх байрлалыг тодорхойлоход гурван хиймэл дагуулын дохио хүлээн авах нь хангалттай боловч 4 дэх хиймэл дагуулын дохиог авснаар синхронжилтын болон байрлалын алдаа үүсэхээс зайлсхийдэг.

Координатын геоцентр системд хиймэл дагуул хүртэлх зайн хэмжсэн утгыг дараах илэрхийллээр (1.1) олж болно [1].

$$D_{sat} = \sqrt{(x_{хд} - x)^2 + (y_{хд} - y)^2 + (z_{хд} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.1)$$

Энд  $x_{хд}$ ,  $y_{хд}$ ,  $z_{хд}$  нь хиймэл дагуулын мэдэгдэж буй координатууд,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  нь хэрэглэгчийн буюу тодорхойлох ёстой координатууд.  $c \cdot \Delta t_{syn}$  нь хэрэглэгчийн болон хиймэл дагуулын цагийн хэмжүүрийн синхронжилтын алдаанаас үүдэлтэй, үл мэдэгдэх хэмжигдэхүүн.



1-р зураг (GNSS системийн хиймэл дагуулуудын болон хэрэглэгчийн байрлалын тойм зураг)

(1.1) илэрхийллээс харахад 4 үл мэдэгдэгч байна. Тиймээс 4 хүртэлх хиймэл дагуулын дохиог хүлээн авч, систем тэгшитгэл бодон (1.2), тэдгээрийг олж болно [1].

$$D_{sat1} = \sqrt{(x_{хд1} - x)^2 + (y_{хд1} - y)^2 + (z_{хд1} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.2)$$

$$D_{sat2} = \sqrt{(x_{хд2} - x)^2 + (y_{хд2} - y)^2 + (z_{хд2} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.3)$$

$$D_{sat3} = \sqrt{(x_{хд3} - x)^2 + (y_{хд3} - y)^2 + (z_{хд3} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.4)$$

$$D_{sat4} = \sqrt{(x_{xd4} - x)^2 + (y_{xd4} - y)^2 + (z_{xd4} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.1)$$

Тодорхойлолтын дагуу GNSS дэлхийг бүхэлд нь хамран ажиллана. GNSS-ийн жишээнд АНУ-ын NAVSTAR Глобал Байршлын Систем (GPS), Оросын Глобал Навигацийн Спутниковая Система (ГЛОНАСС), Европын Галилео болон Хятадын БэйДу наavigацийн хиймэл дагуулын систем зэргийг дурдаж болно.

### **Төслийн үндэслэл**

Энэхүү төсөл нь нийгэм, эдийн засаг, техник технологийн салбарт тулгамдаж байгаа асуудлыг шийдвэрлэх зорилготой төлөвлөгдсөн. Төслийн бүтцийг дотор нь үндсэн 2 хэсэгт хураангуйлан доорхи маягаар томъёолсон. Эдгээр 2 үндсэн хэсэг нь дотроо задрах бөгөөд төсөлт ажлыг хэрэгжүүлэх шаардлага, үндэслэл мөн хэрэгжүүлсний дараа гарах үр дүнтэй нягт холбоотой байх юм.

1. Өндөр гүйцэтгэл бүхий ARM процессорт суурилсан, нарийвчлал сайтай GPS зохиомжлох технологийн судалгаа явуулж бүтээгдэхүүн гаргаж авах
2. Гаргаж авсан бүтээгдэхүүнээ эдийн засгийн эргэлтэнд оруулах судалгааг явуулж хэрэглэх хүрээг тодруулах

Төслийн хүрээнд хийгдэх судалгаа шинжилгээний ажлын үндэслэлийг доорхи байдлаар тодорхойлж байна. Үүнд:

1. Монгол улсад импортоор орж ирж буй олон төрлийн GPS төхөөрөмжүүд нь манай улсын GPS-ийн зах зээлийн 95% ийг эзлээд байна. Техник технологийн хурдацтай хөгжлийн энэ эрин үед бид өөрсдийн гэсэн технологитой болж гадны бүтээгдэхүүнтэй энэ тэнцүү өрсөлдөхүйц бүтээгдэхүүнтэй болж хувьсан өөрчлөгдөж буй дэлхийтэй хөл нийлүүлэн алхах шаардлагатай болоод байна. Мөн Монгол орныхоо цаг уурын эрс тэс уур амьсгалд тохирсон элементүүдийг ашиглаж GPS төхөөрөмж бүтээх юм.
2. Манай төхөөрөмжийн хамрах хүрээний хувьд боруулалтын компани, онцгой объект тээвэрлэж буй тээврийн хэрэгсэл, уул уурхайн тээврийн хэрэгсэл (экскаватор, шалаанз, ачааны машин, бульдозер, крйдер), мөн хөдөө орон нутагт

томилолтоор явдаг тээврийн хэрэгслүүд, шуудангийн машин, хот хоорондын автобус мөн лизингийн үйлчилгээ үзүүлдэг компаниуд зэрэг өргөн хүрээг хамарна.

## Үндсэн хэсэг

### Техник хангамж ба элементүүд

#### GSM модуль

Маш жижиг хэмжээтэй уг модуль нь 4зурвасын өргөнд ажилладаг ба 850MHz , 900MHz, 1800MHz, болон 1900MHz зэрэг зурвасын өргөнд ажилладаг. Уг модуль өгөгдөлийг хурдан дамжуулахад мөн овор хэмжээний хувьд бага энерги зарцуулалт бага зэрэг маш олон шаардлагыг хангасан учир сонгосон.



2-р зураг

#### 1-р хүснэгт

Ажиллах хүчдэл	3,4v-4.4v
Энерги хадгалалтын горим	0,7mA
Ажиллах градус	-40C- +85C
GPRS	Өгөгдөл дамжуулах хурд 85,6kbps Өгөгдөл хүлээж авахдаа 85,6kbps
Sim interface	Сим карт дэмждэг: 1,8v 3v
Гадны нэмэлт антенн	Наалддаг антеннтай
Хугацааны функцууд	АТ командаар тохируулагдана
Real time clock	RTC дэмждэг
Физик биеийн характеристик	15,8*17,8*2,4mm
Sms	Sms -ийг сим картад хадгална.
Үнэ	45,000-50,000төгрөг
Жин	1,35г

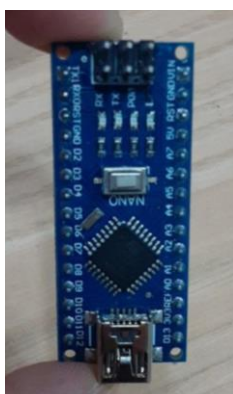
### **Удирдлагын төхөөрөмж**

Ардуино нано Контроллер нь ATmega328P дээр суурилсан жижиг хэмжээтэй, оролт гаралтын 14 аналог 8хөлтэй, 3,3v болон 5v-оор тэжээгддэг -40C +85C ажиллах чадамжтай контроллер юм.

### **Санах ой:**

Флейш санах ой 32 KB - Энэ санах ойн EEPROM-н нэг төрөл бөгөөд тэжээлээс салсан ч доторх мэдээлэл нь устдаггүй программын аргаар устгаж мөн бичиж болдог санах ой. Ихэвчлэн Memory card, USB driver, digital аппарат, гар утсанд ашиглагддаг.

SRAM үндсэн санах ой 2KB - Үндсэн санах ойд боловсруулалтад орох өгөгдөл хадгалагдана.



3-р зураг

### **GPS модуль**

GPS модуль нь байршил илрүүлэх төхөөрөмж бөгөөд хиймэл дагуулаас ирэх мэдээллийг (ур.өр) хүлээн авч өөрийн байршлыг үүрэн холбооны дата сүлжээ ашиглан хэрэглэгчид мэдээлэх юм. GPS хүлээн авагчийн байрлал тодорхойлоход Заас багагүй хиймэл дагуул ашиглана. Нэг дор хүлээн авсан мэдээлэлд анализ хийж өөрийн байгаа байрлалыг (уртраг ,өргөрөг) гэсэн 2 хэмжээсээр тодорхойлно.

2-р хүснэгт

Ажиллах хүчдэл	3,4v-4.4v
Энерги хадгалалтын горим	0,7mA
Ажиллах градус	-40C- +85C
Гадны нэмэлт антенн	Наалддаг антеннтай

Хугацааны функцууд	АТ командаар тохируулагдана
Real time clock	RTC дэмждэг
Физик биеийн характеристик	36mm*17mm*4mm
Үнэ	90,0000-100,000төгрөг/ш
Жин	1,35г



4-р зураг

### SD карт уншигч

Байршил тогтоогч төхөөрөмж 3G сүлжээгүй үед NEO-M8 модуль нь өгөгдлөө SD карт уруу илгээж хадгалдаг бөгөөд сүлжээнд холбогдох үед SD карт модуль нь веб сайт уруу өгөгдлийг дамжуулна.



5-р зураг

```

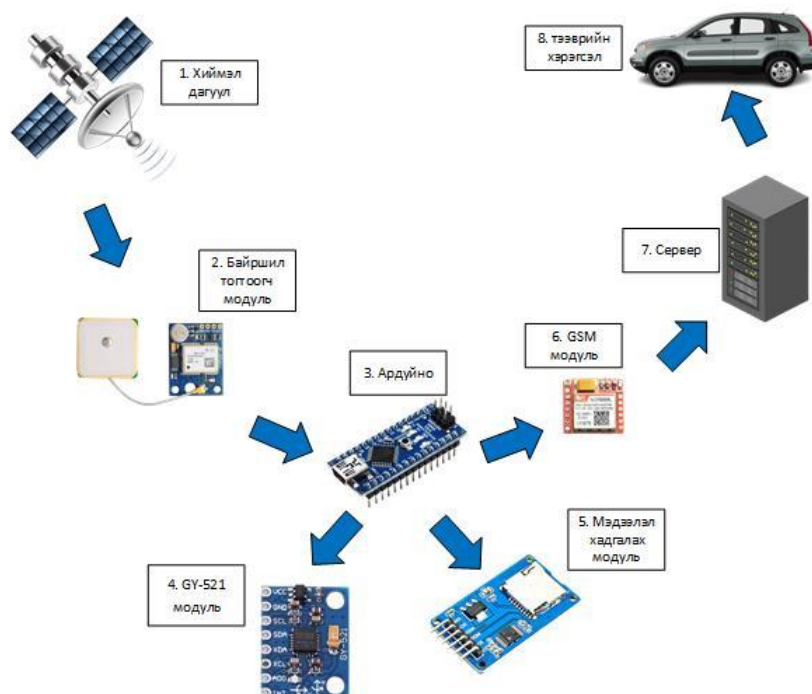
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:50:26
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:51:1
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:51:3
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:51:3
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:51:3
Ungurug47.914791,Ultra106.971458 Date 2022/11/26 10:51:3

```

6-р зураг

## 1. Ажиллагааны зарчим

Доорх зурагт үзүүлсэн схем зургийг тайлбарлавал байршил тогтоогч модуль нь хиймэл дагуулаас газрын зургийн уртраг, өргөргийн мэдээллийг хүлээн авч ардуино микро контроллер уруу дамжуулна. Мэдээлэл хүлээж авсан контроллер мэдээлэл хадгалах модульд уртраг, өргөргийг хадгална. Ингэснээр сүлжээгүй болсон үед уртраг, өргөргийн мэдээллийг хадгалаад сүлжээтэй холбогдох үед явсан замыг нөхөж серверт илгээх юм. Ардуино контроллер нь GY-521 модультай мөн холбогдон тээврийн хэрэгслийн хөдөлгөөнийг хянаж, хөдөлгөөнгүй үед олон дахин уртраг, өргөргийн мэдээллийг серверт дамжуулахгүй байхаар тохируулсан. Ингээд эцэст нь GSM модуль контроллороос хүлээж авсан мэдээллийг серверт 3G сүлжээгээр илгээх юм. Серверт очсон мэдээллийг веб интерфэйстэй хүлээж аван газрын зураг дээр тээврийн хэрэгслийн байршлыг харуулна.



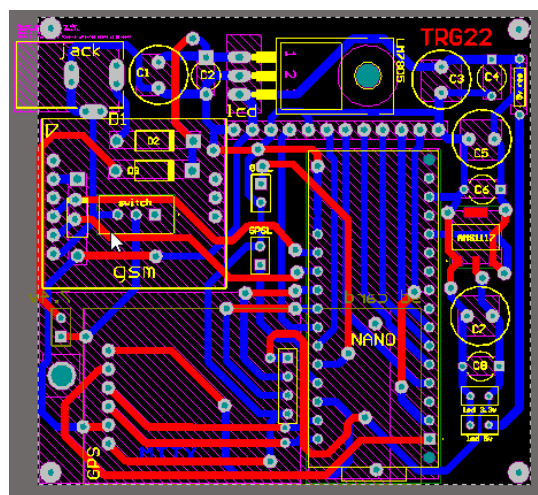
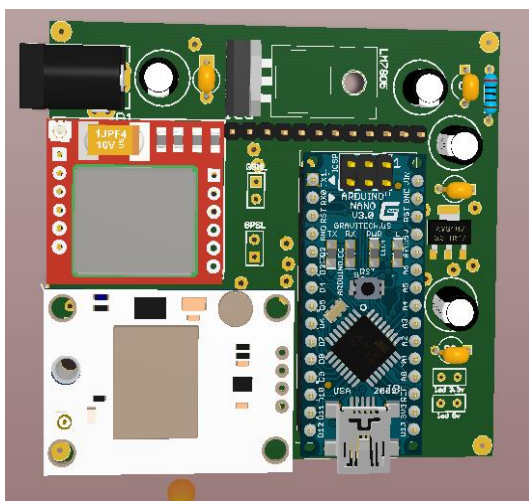
7-р зураг

Байршил тогтоогч төхөөрөмжид GSM, GPS, SD карт, MPU6050 гэсэн 4 төрлийн модуль багтах бөгөөд ардуино микро контроллороор удирдах юм. Хиймэл дагуулаас ирсэн уртраг, өргөргийн мэдээллийг 15-30 секунд дотор хүлээж аван SD карт хадгалаад GSM модулийн 3G сүлжээгээр дамжуулан серверт мэдээллийг хүлээн аваад байна.



Байршил тогтоогч хяналтын системийн техникийн схем зургийг Altium designer17 программаар зурж, гүйцэтгэсэн.

Ингэхдээ ашиглах модулиуд өөр өөр хүчдэлээр ажилладаг тул тэдгээр модулиудын ажиллах хүчдэлийг гаргасан. Байршил тогтоогч хяналтын системийн тэжээлийг машины 12в аккумулятор болон 7.4в-ын лити ион батарейны аль нэгээр нь тэжээх боломжтойгоор тооцож, дээрх хоёр өөр хүчдэлийг LM7805 хүчдэл бууруулагчаар 5в гаргаж, AMS1117 хүчдэл бууруулагчаар 3.3в гаргаж модульд шаардлагатай хүчдэлийн схем зураад GSM модульд зориулж 4.3в, GPS модульд 3.3в, SD картад 5в-ын хүчдэлээр тэжээсэн.



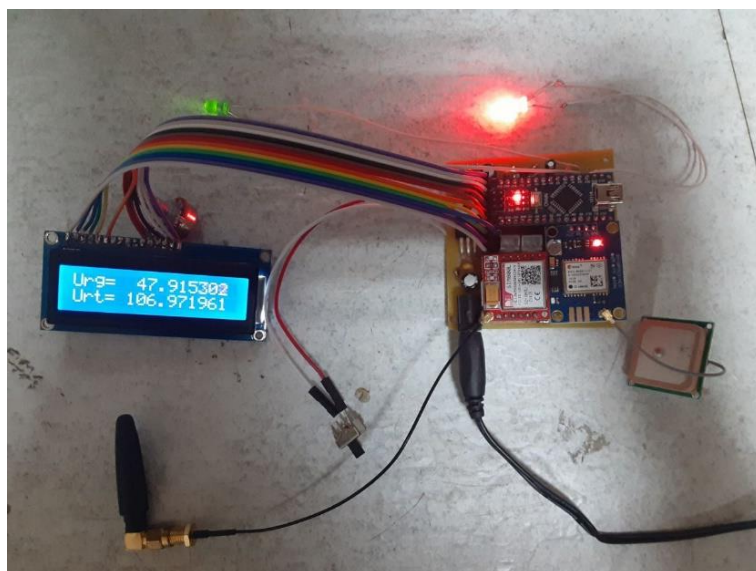
8-р зураг

### **Хиймэл дагуулаас мэдээлэл авах**

MPU6050 модулийг ашиглаж тээврийн хэрэгслийг анхны байрлалаас х,у,z тэнхлэгийн дагуу хөдөлсөн мэдээллийг авсан. Мөн энэхүү модулиар нэмэлтээр тухайн орчны температурын мэдээллийг авах боломжтой.

Эрс тэс уур амьсгалд тохирсон -40 +85°C тэсвэртэй электроникийн модулиудыг хоорондын уялдаа холбоо ажиллагааг харж үзэн сонгож авсан.

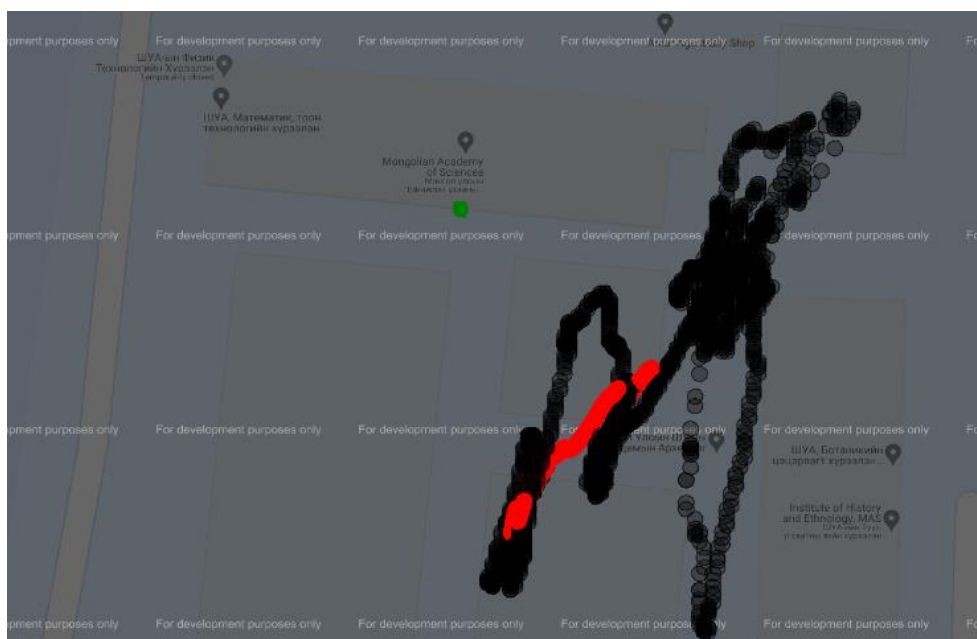
Доорх зурагт хиймэл дагуулаас уртаг болон өргөргийн мэдээллийг авах төхөөрөмжийг угсарч, лед дэлгэц(дугаар.1) дээр харуулав. Зэс хавтан дээр гол үүрэг гүйцэтгэх модулиудыг(Дугаар.2) суурилуулж, унтраах асаах түлхүүр(Дугаар.3), GSM антен(Дугаар.4), GPS антен(Дугаар.5) харагдаж байна.



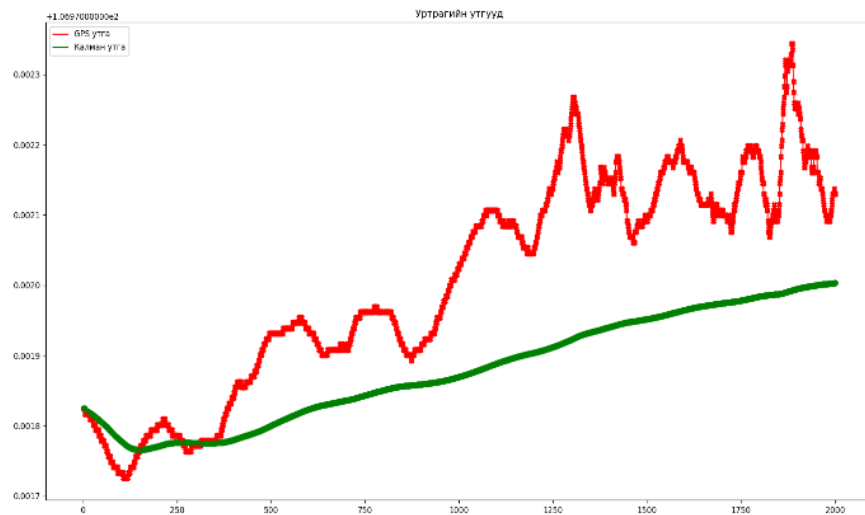
9-р зураг

## 2. Калман филтер

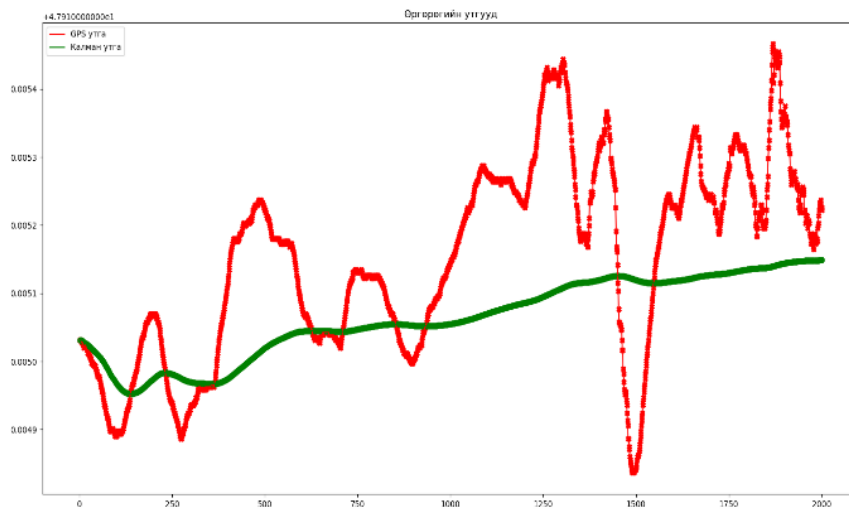
Калман шүүлтүүрийг ашиглан байршил тогтоогчийн дээш, доош савлаж байгаа утгыг тогтворжуулав. Зурагт үзүүлснээр ногоон цэг байршил тогтоогчийн байгаа газар(Байшин дотор) хар өнгөөр тэмдэглэгдсэн зурааснууд байршил тогтоогчийн савлалтыг илтгэх бөгөөд улаан зураасаар тогтворжуулсан хэсгийг тэмдэглэсэн байна. Энэхүү зургаас үзэхэд байршил тогтоогч байшин дотор байгаа учраас байрлалаа онохгүй хэт их савласан, харин калман шүүлтүүр савлалтыг багасгаж байгаа нь харагдаж байна.



10-р зураг



11-р зураг



12-р зураг

Зураг 9 –д харуулснаар улаан зураасаар уртраг болон өргөргийн савлалтыг илтгэсэн бол дээрх ногоон зураасаар савлалтыг багасгасан байдлыг харуулав.

## Калманы томьёо

Дундаж квадрат алдаа

Ихэнх дохиог шугаман байдлаар тодорхойлж болно.

$$y_k = a_k x_k + n_k$$

$y_k$ -нь хугацаанаас хамаарсан таамаглаж буй дохио

$a_k$ -Өсгөлтийн коэффициент

$x_k$ -дохионы тархацын мэдээллийн агуулах хувьсагч

$n_k$ - нэмэлт шуугиан(шум)

Бидний ерөнхий зорилго нь  $x_k$ -г тооцоолоход оршино. Тооцоолсон  $\hat{X}$  мөн жинхэнэ  $X$ -ийн зөрүүг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$f(e_k) = f(\hat{X} - X)$$

$f(e_k)$  – функцын хэлбэр нь хэрэглээнээсээ хамааран өөр бөгөөд функц нь эерэг утгатай монотон байдлаар өсөх ёстой. Алдаа дараах байдлаар тодорхойлогдоно.

$$f(e_k) = (\hat{X} - X)^2$$

Шүүлтүүр нь тодорхой хугацааны туршид олон өгөгдлийг урьдчилан таамагладаг учир тул алдааны функцийг дараагийн утга нь хамгийн гол зүйл юм.

$$\text{loss function} = E(f(e_k))$$

дундаж квадрат алдаагаар илэрхийлэгдэхдээ:

$$E(t) = E(e_k^2)$$

Хамгийн их үнэний бүхий арга

Дээрх хамгийн бага квадратын арга нь хэдийгээр сайн ажилладаг ч зарим тохиолдолд эвристик шинж үзүүлдэг. Хамгийн их үнэний бүхий аргыг ашиглан илүү нарийн боловсруулалт хийж болно. Энэхүү арга нь  $\hat{X}$ -ийг дахин тодорхойлох замаар  $y$ -ийн үнэн байх магадлалыг ихэсгэнэ.

$$\max [P(y|\hat{x})]$$

Нэмэлтээр санамсаргүй шуугианыг стандарт хазайлтаар тархсан Гаусын тархалттайгаар гэж авч үзвэл.

$$P(y_k|\hat{x}_k) = K_k \exp - \left( \frac{(y_k - a_k \hat{x}_k)^2}{2\sigma_k^2} \right)$$

$K_k$  – нормчлолын тогтмол юм. Үүний хамгийн их магадлалын функц нь

$$P(y|\hat{x}) = \prod_k K_k \exp - \left( \frac{(y_k - a_k \hat{x}_k)^2}{2\sigma_k^2} \right)$$

Задалвал

$$\log P(y|\hat{x}) = -\frac{1}{2} \sum_k \left( \frac{(y_k - a_k \hat{x}_k)^2}{\sigma_k^2} \right) + constant$$

Дээрх тэгшитгэлийн функц нь хамгийн бага квадратын аргаар тодорхойлогдох бөгөөд үүнийг  $\widehat{X}_k$  -ийн утгыг өөрчлөх замаар максимчилна. Иймд бидний хүсэж буй  $Y_k$ -ийн өөрчлөлтийг Гауссын тархалтаар сайн загварчилсан тохиолдолд дундаж квадрат алдааг ашиглах боломжтой. Ийм тохиолдолд хамгийн бага квадратын арга нь  $\widehat{X}_k$  дохио  $Y_k$ -ийн үнэн байх утга уруу нь максимчилна.

Төлвийн орон

Доорх процессийн хувьсагчийг олох гэж байна гэж авч үзье.

$$x_{k+1} = \Phi x_k + w_k$$

$X_k$  Хугацааны  $K$  агшин дахь төлөвийн вектор

$\Phi$  нь  $K$  үеэс  $K+1$  үеийн төлөв үрүү шилжих үеийн шилжилтийн матриц.

$w_k$  – системд нөлөөлөх шуугиан.

Энэхүү процесийг ажиглагчийн зүгээс загварчилвал:

$$z_k = H x_k + v_k$$

$Z_k$ -  $k$  эгшин дэхь  $x$ -ийн бодит хэмжилт

$H$ - төлвийн вектор болон хэмжилтийн векторын хоорон дахь шуугиангүй холболт.

$v_k$ - хэмжилтийн алдаа. Энэ алдаа нь ковариаци болон тэг хөндлөн хамаарлыг процесийн шуугиантай хамтад нь багтаасан.

Дундаж квадрат алдааг минимумчилан оновчтой шүүрийг гарган авхын тулд Гауссын тархалтыг ашиглан системийн алдааг зөв загварчлах ёстой. Дээрх 2 шуугианы загварыг хугацааны туршид өөрчлөлтгүй гэж тооцсон.

$$Q = E [w_k w_k^T]$$

$$R = E [v_k v_k^T]$$

Дундаж квадрат алдаа нь дараах тэгшитгэлтэй тэнцүү:

$$E [e_k e_k^T] = P_k$$

$P_k$  нь  $K$  эгшин дэхь ковариацийн алдааны матриц.

Тэгшитгэл 11.14 задалвал:

$$P_k = E [e_k e_k^T] = E [(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T]$$

$\widehat{X}_k$  –ийн өмнөх тооцоолол нь  $\widehat{X}_k$  бөгөөд системийн ерөнхий ажиллагаанаас гарч ирсэн. Өмнөх тооцооллоос дараагийн тооцоолол уруу шинэчлэлт хийгдэхдээ өмнөх тооцоолол болон хэмжилтийн утга хоёрыг ашиглана.

$$\hat{x}_k = \hat{x}'_k + K_k (z_k - H \hat{x}'_k)$$

$K_k$ -Калманы өсгөлт

$Z_k - H\widehat{X}_k$  –хэмжилтийн зөрүү(шинэчлэлт утгаа шинэчилж байгаа учир)

$$i_k = z_k - H \hat{x}_k$$

11.11 ийг 11.16 д орлуулбал

$$\hat{x}_k = \hat{x}'_k + K_k (H x_k + v_k - H \hat{x}'_k)$$

11.18-ийг 11.15д орлуулбал

$$P_k = E \left[ \begin{aligned} &[(I - K_k H)(x_k - \hat{x}'_k) - K_k v_k] \\ &[(I - K_k H)(x_k - \hat{x}'_k) - K_k v_k]^T \end{aligned} \right]$$

$\widehat{X}_k - \widehat{X}_k$  өмнөх тооцооллын алдаа. Энэхүү алдаанд хэмжилтийн шуугиан хамааралгүй учир таамаглалыг дараах байдлаар бичнэ.

$$P_k = (I - K_k H) E \left[ (x_k - \hat{x}'_k) (x_k - \hat{x}'_k)^T \right] (I - K_k H) + K_k E [v_k v_k^T] K_k^T$$

11.13 болон 11.15ийг 11.9 тэгшитгэлд орлуулбал.

$$P_k = (I - K_k H) P'_k (I - K_k H)^T + K_k R K_k^T$$

$P'_k$  нь

### 3. Вебсайт

Ашигласан технологиуд:

Frontend: ReactJS

ReactJS нь үнэгүй, Open Source, Javascript-ийн сан, түгээмэл ашиглагддаг frontend-ийн технологи юм. 2013 онд Facebook гаргасан.

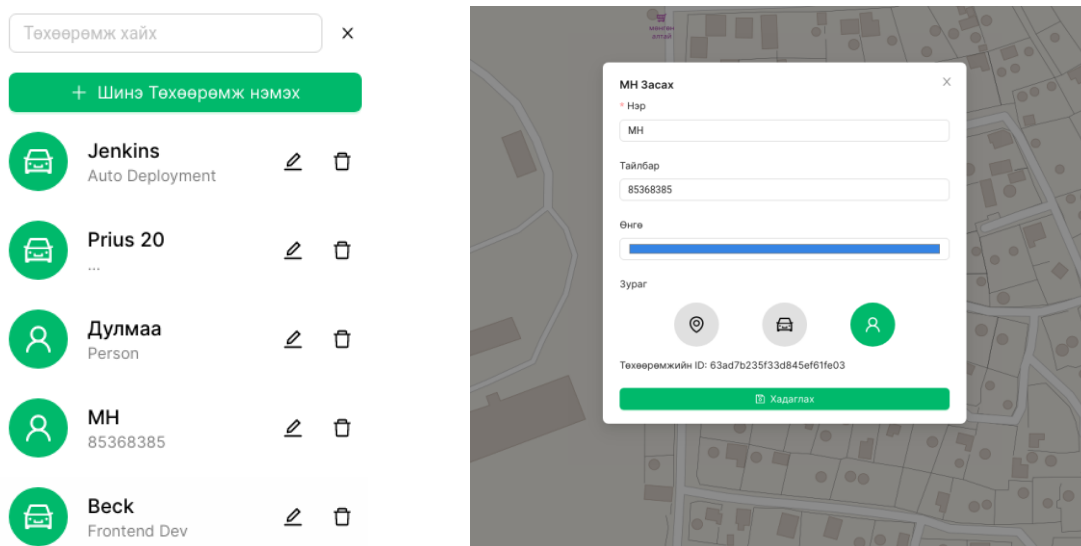
Backend: NestJS

Nest.JS нь Node.JS сервер талын программуудыг бүтээхэд ашигладаг framework юм. Nest framework нь TypeScript ашиглан бүтээгдсэн ба Typescript-аар хөгжүүлэлтэй хийдэг.

Database: MongoDB

MongoDB нь платформ хоорондын баримт бичигт чиглэсэн мэдээллийн сангийн программ юм. NoSQL өгөгдлийн сангийн программ гэж ангилагддаг. MongoDB нь схем бүхий JSON-тэй төстэй баримт бичгүүдийг ашигладаг.

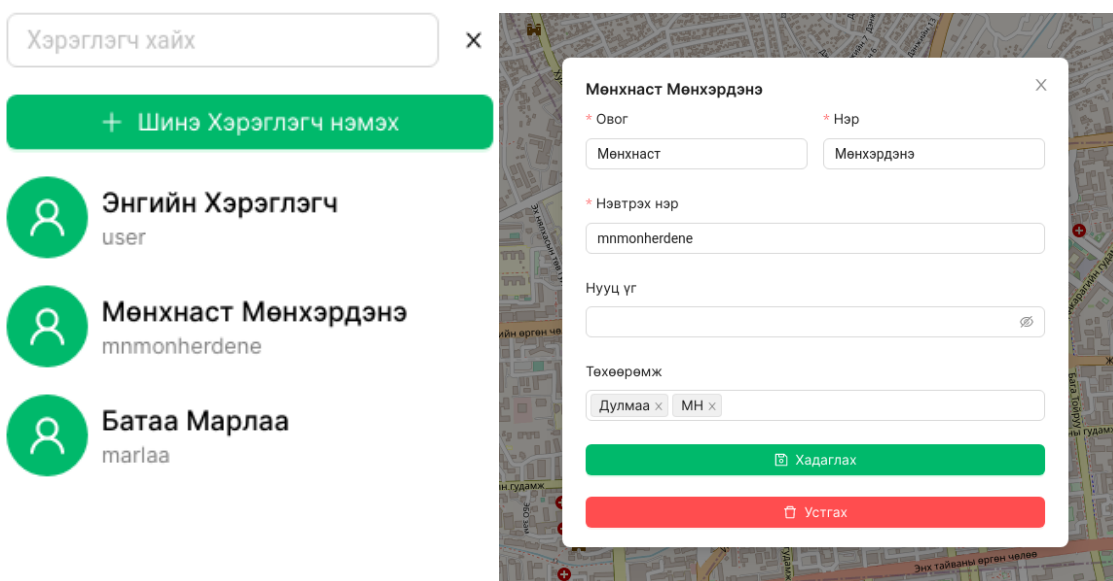
## Хийсэн ажлууд: Төхөөрөмж бүртгэх хэсэг



13-р зураг

Төхөөрөмжийн ID нь тухайн төхөөрөмж сервер лүү хандахдаа илгээдэг таних тэмдэг юм.

## Хэрэглэгч бүртгэх хэсэг



14-р зураг

Админ хэрэглэгч ганцхан байх ба төхөөрөмжид үүсгэх өөрчлөх устгах, Хэрэглэгч үүсгэх, Хэрэглэгчид төхөөрөмж өгөх бүрэн эрхтэй байна.



## Тохиргоо


<p>▼ Ерөнхий мэдээлэл</p> <p>Овог</p> <input type="text" value="Super"/>	<p>▼ Нууц үг солих</p> <p>Одоогийн нууц үг</p> <input type="password"/>
<p>Нэр</p> <input type="text" value="Admin"/>	<p>Шинэ нууц үг</p> <input type="password"/>
<p>Нэвтрэх нэр</p> <input type="text" value="admin"/>	<p>Нууц үг давтан оруулах</p> <input type="password"/>
<p><input type="submit" value="Хадаглах"/></p>	<p><input type="submit" value="Нууц үг солих"/></p>
	<p><input type="submit" value="Гарах"/></p>

15-р зураг

Ерөнхий мэдээлэл болон нууц үг солих тохиргоо хийнэ.

### Нэвтрэх хэсэг

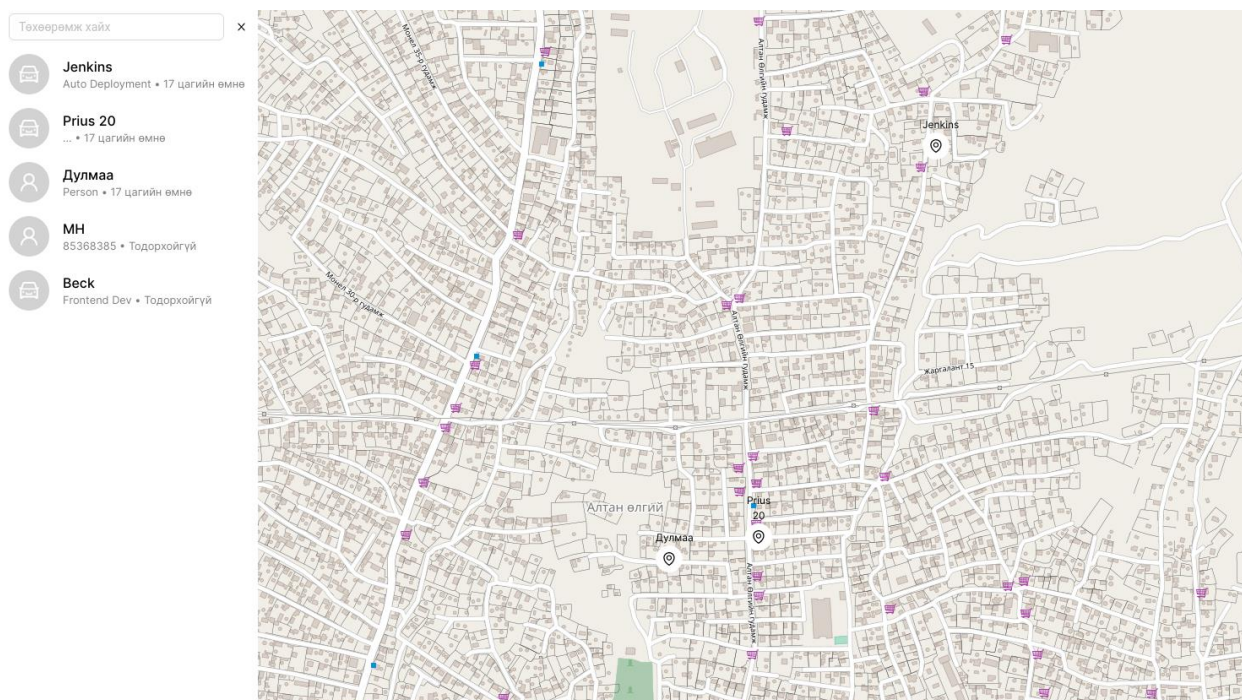
Нэвтрэх нэр болон нууц үгээр нэвтэрнэ. Нэвтэрч ороогүй хэрэглэгч вэбсайтад хандах эрхгүй байна. Нууц үгээ мартсан тохиолдолд нууц үг сэргээх боломжгүй зөвхөн админ л өөрчлөх эрхтэй.

 GPS

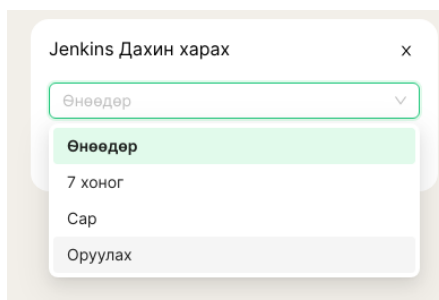
16-р зураг

## Газрын зураг



17-р зураг

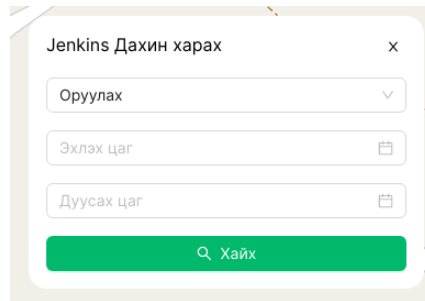
Төхөөрөмж хэдэн цагийн өмнө идэвхтэй байсан нь харагдана. Газрын зураг дээр яг одоо төхөөрөмжүүд хаана хаана байгаа нь харагдана. Төхөөрөмж дээр дарвал байгаа газар луу газрын зураг очно бас хажууд дахин харах гэдэг цонх гарж ирнэ.



18-р зураг

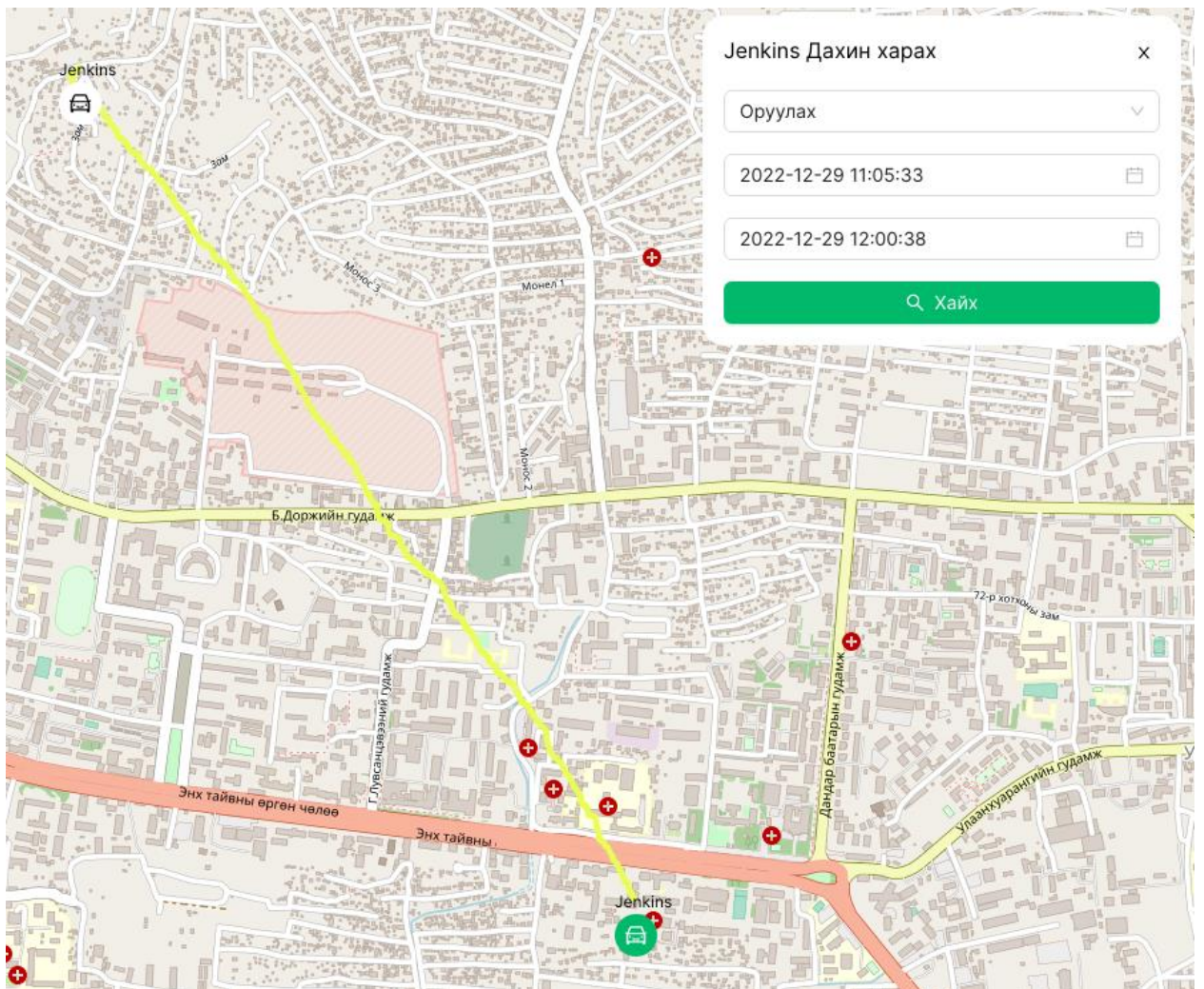
### Дата хайх сонголт

- Өнөөдөр нь өнөөдрийн 00:00:00 цагаас 23:59:59 хоорондох дата хайж олно.
- 7 хоног нь өнөөдрөөс хойшоо 7 хоногийн дата хайж олно.
- 1 сан нь өнөөдрөөс хойшоо 1 сарын дата хайж олно.
- Оруулах нь хүссэн цагаа оруулж болно.



19-р зураг

Явсан зам нь зураасаар дата илгээсэн газар нь цэгээр харагдах ба тэр төхөөрөмжийнхөө өнгөөр зурагдана. Дахиад өөр төхөөрөмж сонгоод цаг аа оруулах юм бол өмнөх нь устгахгүйгээр нэмээд зуран. Устгаж арилгах даа баруун доор байх хогийн саван дээр дарна.



20-р зураг

## Өгүүллийг хавсаргав.

Төслийн эрдэм шинжилгээний ажлын хүрээнд “Глобал навигацийн хиймэл дагуулын мэдээлэл боловсруулах төхөөрөмж” сэдвээр өгүүлэл бичсэн. Энэхүү өгүүлэл МТТХ-ийн бүтээл №4-д хэвлэгдэнэ.

Journal of IMDT

Vol. 4, 2022

# Глобал навигацийн хиймэл дагуулын мэдээлэл боловсруулах төхөөрөмж

Б.Нарангий<sup>1\*</sup>, Д.Ууганбаатар, О.Бөхцоож, Ө.Баттулга

<sup>1</sup> Шинжлэх Ухааны Академи, Математик, тоон технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар 13330, Монгол улс

**Хураангуй:** Глобал навигацийн хиймэл дагуулын (GNSS) мэдээлэл боловсруулах системийн схем-техникийн шийдэл загварыг гаргасан. Загварын дагуу бодит төхөөрөмжүүд дээр GNSS дохио боловсруулан, хэрэглэгчийн байрлалын координатыг тогтоож олсон. Мөн шуугианы нөлөөг бууруулахын тулд Калманы шүүлтүүрийг ашигласан. Байрлал тогтоох төхөөрөмж нь тогтмол гүйдлийн хүчдлээр тэжээгдэх ба автомашины тэжээлийн хэлхээ болон батарейнд холбогдон ажиллах боломжтой. Мөн хэрэглэгчийн явсан замын траекторийг харуулах өгөгдлийн сан, веб интерфейс бүхий программ хангамж бичиж зохион бүтээсэн.

**Түлхүүр үгс:** байршил, GNSS, Arduino, траектори, микроконтроллер

## 1. Оршил

Глобал навигацийн хиймэл дагуулын систем (GNSS) нь сансар огторгуйгаас дохио өгдөг хиймэл дагуулуудын нэгдэл бөгөөд GNSS хүлээн авагчдад байршил, цаг хугацааны өгөгдлийг дамжуулдаг. Дараа нь хүлээн авагчид энэ өгөгдлийг ашиглан байрлалыг олно.

GNSS-ийн гүйцэтгэлийг дөрвөн шалгуураар үнэлдэг.

Нарийвчлал: хүлээн авагчийн хэмжсэн болон газар зүйн байрлал, хурд, цаг хугацааны хоорондох ялгаа;

Найдвартай ажиллагаа: системийн итгэл үнэмшлийн босго тогтоох, байрлалын өгөгдөлд алдаа гарсан тохиолдолд дохиолол өгөх чадвар;

Тасралтгүй байдал: системийн тасалдалгүйгээр ажиллах чадвар;

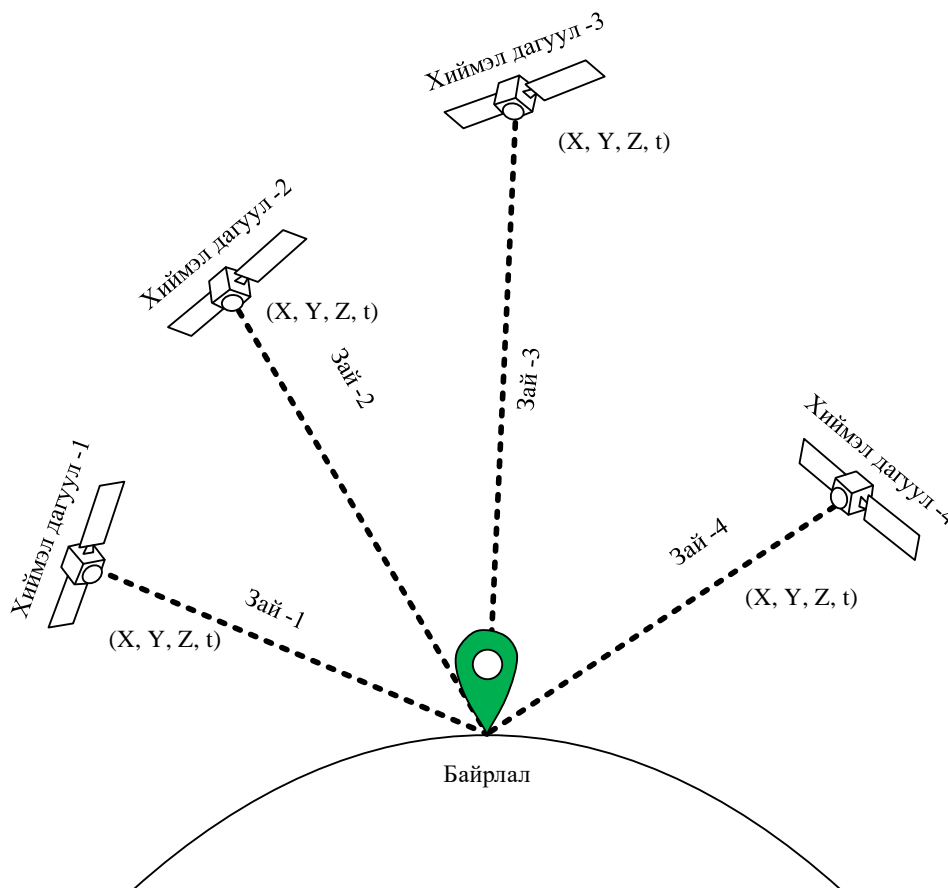
Бэлэн байдал: дээрх нарийвчлал, найдвартай ажиллагаа, тасралтгүй байдлын шалгуурыг ханган ажиллах хугацааны хувь аль болох их байх ёстой.

GNSS нь хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаанаас эхлээд хүнд аж үйлдвэр, сансрын технологид хүртэл хэрэглэгддэг технологи юм. GNSS нь 19000 км орчмын өндөрт байрлах орбиттой хиймэл дагуулуудаас ирэх кодлогдсон радио долгионыг тусгайх хүлээн авагчаар хүлээн авч боловсруулж, хэрэглэгчийн газар дээрх координатыг тодорхойлдог. Ингэхдээ GNSS системийн хиймэл дагуулуудын орбитыг хэрэглэгч 4 хүртэлх хиймэл дагуулыг шууд харж байхаар төлөвлөсөн байдаг (зураг 1). Хиймэл дагуул бүр өөрийн байрлал болон дэлхийн төв хүртэлх зайг мэдэж байгаа ба энэ мэдээллийг байнга дамжуулна. Энэ мэдээллийн тусламжтайгаар хүлээн авагч нь өөрийн байрлалыг тодорхойлно. Газар дээрх байрлалыг тодорхойлоход гурван хиймэл дагуулын дохио хүлээн авах нь хангалттай боловч 4 дэх хиймэл дагуулын дохиог авснаар синхронжилтын болон байрлалын алдаа үүсэхээс зайлсхийдэг.

Координатын геоцентр системд хиймэл дагуул хүртэлх зайн хэмжсэн утгыг дараах илэрхийллээр (1.1) олж болно [1].

$$D_{sat} = \sqrt{(x_{xd} - x)^2 + (y_{xd} - y)^2 + (z_{xd} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.1)$$

Энд  $x_{xd}$ ,  $y_{xd}$ ,  $z_{xd}$  нь хиймэл дагуулын мэдэгдэж буй координатууд,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  нь хэрэглэгчийн буюу тодорхойлох ёстой координатууд.  $c \cdot \Delta t_{syn}$  нь хэрэглэгчийн болон хиймэл дагуулын цагийн хэмжүүрийн синхронжилтын алдаанаас үүдэлтэй, үл мэдэгдэх хэмжигдэхүүн.



Зураг 1: GNSS системийн хиймэл дагуулуудын болон хэрэглэгчийн байрлалын тойм зураг.

(1.1) илэрхийллээс харахад 4 үл мэдэгдэгч байна. Тиймээс 4 хүртэлх хиймэл дагуулын дохиог хүлээн авч, систем тэгшитгэл бодон (1.2), тэдгээрийг олж болно [1].

$$D_{sat1} = \sqrt{(x_{хд1} - x)^2 + (y_{хд1} - y)^2 + (z_{хд1} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.2)$$

$$D_{sat2} = \sqrt{(x_{хд2} - x)^2 + (y_{хд2} - y)^2 + (z_{хд2} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.3)$$

$$D_{sat3} = \sqrt{(x_{хд3} - x)^2 + (y_{хд3} - y)^2 + (z_{хд3} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.4)$$

$$D_{sat4} = \sqrt{(x_{хд4} - x)^2 + (y_{хд4} - y)^2 + (z_{хд4} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.1)$$

Тодорхойлолтын дагуу GNSS дэлхийг бүхэлд нь хамран ажиллана. GNSS-ийн жишээнд АНУ-ын NAVSTAR Глобал Байршлын Систем (GPS), Оросын Глобал Навигацийн Спутникова Система (ГЛОНАСС), Европын Галилео болон Хятадын БэйДу навигацийн хиймэл дагуулын систем зэргийг дурдаж болно.

## 2. Микроконтроллер дээр суурилсан байршил тогтоох систем

Энэхүү систем нь хэрэглэгчийн байршлыг газрын зураг дээр тухайн цагийн координатын байршил, явсан замын траекторийн хамт харуулж, шилжилтийн цэгүүдийг бүртгэх тусгай төхөөрөмж болон өгөгдлийн сан бүхий программ хангамжаас тогтоно.

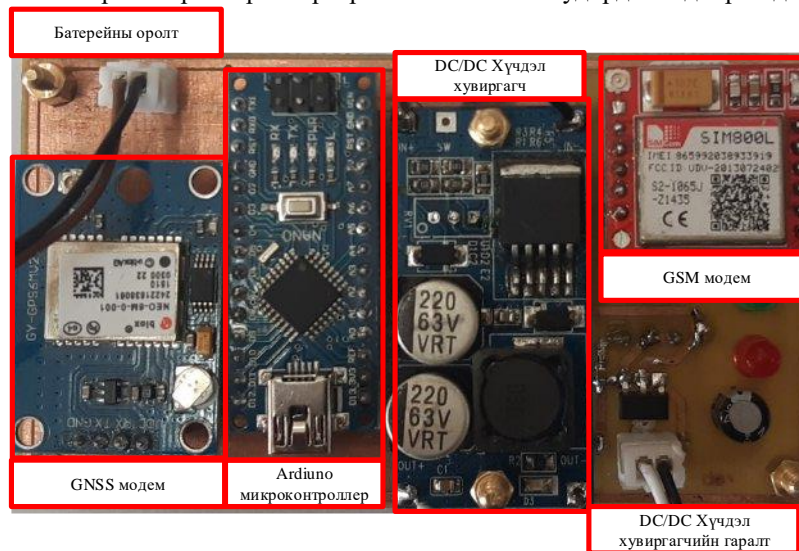
GNSS хиймэл дагуулаас бичил микросхем ашиглан дохио хүлээн авч, хэрэглэгчийн байршил, координатыг (уртраг ба өргөрөг) микроконтроллерын тусламжтайгаар тооцоолон, мэдээллийг өгөгдлийн сан бүхий серверийн программ хангамж руу GSM сүлжээгээр дамжуулдаг.

GNSS системийн хиймэл дагуулын мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмжийн ажиллагааг доорх хэсэгт хүргэв.

## 2.1. GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмж

GNSS хиймэл дагуулуудаас ирэх радио долгионыг GNSS модем GNSS антенны тусламжтайгаар хүлээн авч боловсруулна. Энэ ажилд Швейцарийн U-blox фирмийн Neo-6M GNSS модем ашигласан. GNSS модем нь АНУ-ын GPS, ОХУ-ын ГЛОНАСС, БНХАУ-ын BeiDou зэрэг навигацийн хиймэл дагуулуудын дохиог хүлээн авч боловсруулах техникийн боломжтой. Нарийвчлалын хувьд тойргийн болзошгүй алдаа нь 2.5м [2].

GNSS модем нь хиймэл дагуулуудын дохиог боловсруулж, тоон цуваанд оруулан, Arduino микроконтроллер руу дамжуулна. Arduino микроконтроллер ба GNSS модем нь RS-232 интерфэйсээр холбогдох ба Arduino микроконтроллерын программ хангамжийн удирдлага доор мэдээлэл солилцоно.



Зураг 2: GNSS системийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмж

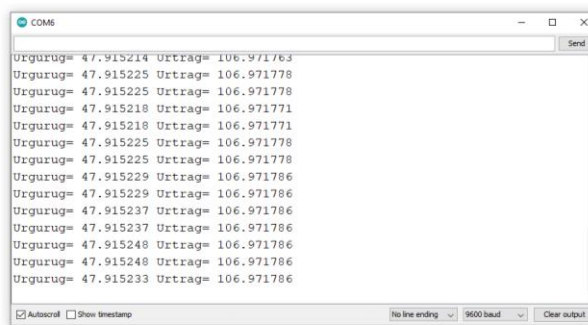
Газарзүйн байршлын мэдээллийг хүлээн авсны дараа Arduino микроконтроллер нь GSM модемын тусламжтай тухайн мэдээллийг өгөгдлийн сан бүхий серверийн программ хангамж руу дамжуулна. Дахин цэнэглэгдэх батарей нь GNSS ашиглан байршлыг хянах төхөөрөмжийг бүхэлд нь тогтмол гүйдлийн хүчдлээр хангах ба дахин цэнэглэгдэх батарейнаас хэлхээнд ирж буй тогтмол гүйдлийн хүчдэл нь DC/DC хувиргагчийн тусламжтай хуваарилагдан, Arduino микроконтроллер, GNSS модем ба GSM модемыг тус тусад нь зохих тогтмол гүйдлийн хүчдлээр ханган тэжээнэ. Дахин цэнэглэгдэх батарей нь өөр дээрээ цэнэгийн хэмжээг илэрхийлэх гэрлэн диодын индикатороос гадна тогтмол гүйдлийн хүчдлээр цэнэглэх оролттой. Дахин цэнэглэгдэх батарей нь мөн өөр дээрээ цэнэгийн хэмжээг хянах удирдлагын электрон схемтэй.

GSM модем нь боловсруулсан мэдээллийг буюу уртраг, өргөргийн утгыг өгөгдлийн сан бүхий серверийн программ хангамж руу илгээнэ.

## 2.2. GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмж

Микроконтроллерын удирдлагын код нь Arduino Software (IDE) программ хангамж дээр бичигдсэн. Кодын хэсгийг доор зургаар хүргэв.

```
#include <TinyGPS++.h>
#include <SoftwareSerial.h>
static const int RXPin = 4, TXPin = 5;
static const uint32_t GPSBaud = 9600;
TinyGPSPlus gps;
SoftwareSerial ss (TXPin, RXPin);
String urt= "gps.location.lat()";
String urgun= "gps.location.lng()";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ss.begin(GPSBaud);
  Serial.println("wait gps");
}
void loop() {
  while (ss.available() > 0){
    gps.encode(ss.read());
    if (gps.location.isUpdated()){
      Serial.print("Urgurug= ");
      Serial.print(gps.location.lat(), 6);
      Serial.print(" Urtrag= ");
      Serial.println(gps.location.lng(), 6);
    }
  }
}
```



Зураг 3: GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авсан дохиог боловсруулах кодын хэсэг

### 3. Үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Бид өөрсдийн төхөөрөмжийн ажиллагааг шалгахын тулд тодорхой замын дагуу 1 секундын хугацаатай хэмжилт хийсэн бөгөөд үр дүнг доор зургаар хүргэв.



Зураг 4: Хэмжилтийн цэгүүд болон явсан траектори (тасархай улаан шугамаар дүрслэв)

Зураг 4-өөс харахад байршил хэмжих төхөөрөмж нь явсан траекторийн дагуу координатыг GNSS модемын алдааны тойргийн дотор хэмжиж байна. Зөвхөн өндөр барилгын (ногоон дөрвөлжингүүд) хажуугаар явах үед хиймэл дагуулаас ирэх дохио тэр хэсгүүдэд сарнидаг учраас алдаа ихсэж байгаа нь (улаан тойрог доторх хэсгүүд) харагдаж байна.

### 4. Дүгнэлт

Бид энэ ажлаараа GNSS системийн хиймэл дагуулуудаас дохио хүлээн авч боловсруулж, хэрэглэгчийн байршилыг тодорхойлох төхөөрөмжийг зохион бүтээлээ. Энэхүү төхөөрөмж нь өгөгдлийн сан бүхий программ хангамжтай холбогдож хэрэглэгчийн явсан замын траекторийг гаргана. GNSS систем дээр суурилсан байршил тогтоох системд дохио нь агаар мандлын давхаргуудад сарнидаг, дифракцид өртдөг, төмөр бетон барилга байгууламжууд саад болдог гэх мэт олон шалтгааны улмаас, мөн дээр дурдсан синхронжилтын зөрүүний улмаас алдаа гарах ба цаашдын ажилдаа бид үүнийг Калманы шүүлтүүр хэрэглэх, инерцийн навигацийн төхөөрөмж нэмэх, GSM сүлжээний суурь станцийн байрлалын координатыг ашиглах зэргээр багасгах төлөвлөгөөтэй байна.

### 4. Ном зүй

- [1] Global Navigation Satellite System (<https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>) – хамгийн сүүлд хандсан огноо: 2022.10.17
- [2] NEO-6 u-blox 6 GPS ModulesData Sheet. ([https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf](https://content.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf)) - хамгийн сүүлд хандсан огноо: 2022.10.17

# Global Navigation Satellite Data Processing Equipment

First name Last name<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mathematics and Digital Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

---

**Abstract:** A schematic-technical solution model of the Global Navigation Satellite (GNSS) data processing system was developed. According to the model, GNSS signals are processed on real devices and the coordinates of the user's position are determined. The positioning device is powered by direct current and can be connected to the car's power circuit or battery. We also designed software with a database and web interface to show the trajectory of the user's journey.

**Keywords:** positioning, GNSS, Arduino, trajectory, microcontroller

---

---

\*Corresponding author: [mas@mas.ac.mn](mailto:mas@mas.ac.mn)



The Author(s). 2021 Open access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.