

# Глобал Навигацийн Хиймэл Дагуулын Мэдээлэл Боловсруулах Төхөөрөмж

Баасансүрэнгийн Нарангий\*, Дуламрагчаагийн Ууганбаатар,  
Одсүрэнгийн Бөхцоож, Өлзийсайханы Баттулга

*Шинжлэх Ухааны Академи, Математик, тоон технологийн хүрээлэн, Улаанбаатар 13330,  
Монгол улс*

\*Холбоо барих зохиогч: [naranzii\\_b@mas.ac.mn](mailto:naranzii_b@mas.ac.mn); ORCID:0000-0003-2344-7932

Өгүүллийн мэдээлэл: Хүлээн авсан: 2022.09.13; Зөвшөөрөгдсөн: 2022.10.01;  
Нийтлэгдсэн: 2022.12.26

**Хураангуй:** Бид энэ ажлаараа глобал навигацийн хиймэл дагуулын (GNSS) мэдээлэл боловсруулах системийн схем-техникийн шийдэл загварыг гаргасан. Энэхүү загвар төхөөрөмжийг хэрэглэгчийн байршлыг 2,5-5м тойргийн алдааны хүрээнд тогтоох боломжтой, үнийн хувьд хямд, эд ангийн хувьд олдоц сайтай байх шаардлагын дагуу бүтээв. Мөн шуугианы нөлөөг бууруулахын тулд Калманы шүүлтүүрийг ашигласан. Байрлал тогтоох төхөөрөмж нь тогтмол гүйдлийн хүчдэлээр тэжээгдэх ба автомашины тэжээлийн хэлхээ болон батарейнд холбогдон ажиллах боломжтой.

**Түлхүүр үгс:** Байршил, GNSS, Arduino, траектор, 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.

1. Нарийвчлал: хүлээн авагчийн хэмжсэн болон газар зүйн байрлал, хурд, цаг хугацааны хоорондох ялгаа;
2. Найдвартай ажиллагаа: системийн итгэл үнэмшлийн босго тогтоох, байрлалын өгөгдөлд алдаа гарсан тохиолдолд дохиолол өгөх чадвар;
3. Тасралтгүй байдал: системийн тасалдалгүйгээр ажиллах чадвар;
4. Бэлэн байдал: дээрх нарийвчлал, найдвартай ажиллагаа, тасралтгүй байдлын шалгуурыг ханган ажиллах хугацааны хувь аль болох их байх ёстой.

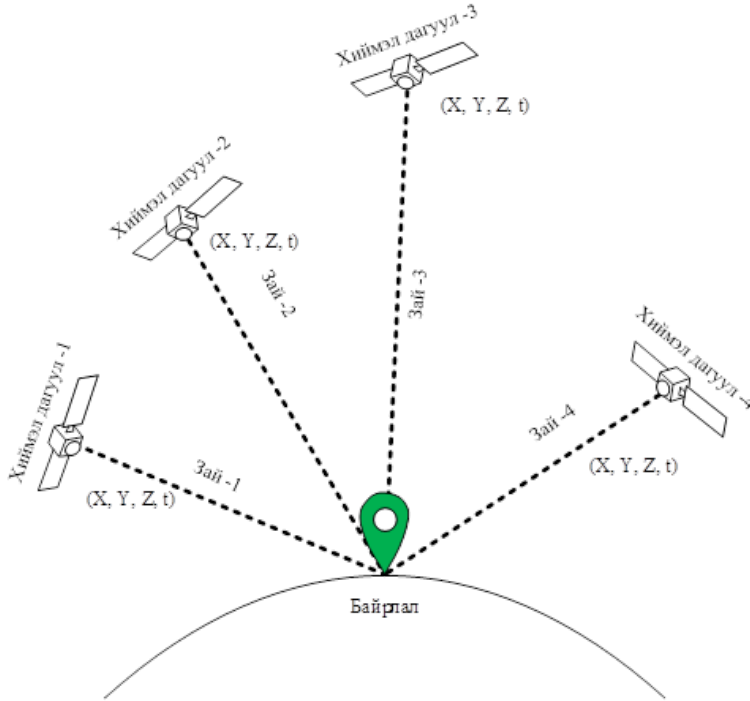
GNSS нь хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаанаас эхлээд хүнд аж үйлдвэр, сансрын технологид хүртэл хэрэглэгддэг технологи юм. GNSS нь 19000 км орчмын өндөрт байрлах орбиттой хиймэл дагуулуудаас ирэх кодлогдсон радио долгионыг тусгай хүлээн авагчаар хүлээн авч боловсруулж, хэрэглэгчийн газар дээрх координатыг 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].

$$D_{sat} = \sqrt{(x_{xд1} - x)^2 + (y_{xд1} - y)^2 + (z_{xд1} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.1)$$

Энд:  $x, y, z$  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].

$$D_{sat1} = \sqrt{(X_{xд1} - x)^2 + (y_{xд1} - y)^2 + (z_{xд1} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.2)$$

$$D_{sat2} = \sqrt{(X_{xд2} - x)^2 + (y_{xд2} - y)^2 + (z_{xд2} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.3)$$

$$D_{sat3} = \sqrt{(X_{xд3} - x)^2 + (y_{xд3} - y)^2 + (z_{xд3} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.4)$$

$$D_{sat4} = \sqrt{(X_{xд4} - x)^2 + (y_{xд4} - y)^2 + (z_{xд4} - z)^2} + c \cdot \Delta t_{syn} \quad (1.5)$$

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 навиацийн хиймэл дагуулын систем зэргийг дурдаж болно.

Орчин үеийн GNSS-ын системийн нарийвчлал нь хэдэн мм хүртэл болж сайжирсан ч [2] эдгээр системүүд нь RTK горимд ажиллах ба үнэ өртгийн хувьд үйл ажиллагааны нөхцөл, үйл ажиллагааны байдлаас хамааран дунджаар 2000-10000 долларын үнэтэй байдаг [3]. Энэ ажилд хийж буй системийн хувьд мм-ийн нарийвчлал шаардагдахгүй, хэрэглэгчийн байршлыг хэдэн арван метрийн радиус дотор хянах мөн координатыг бүртгэх зориулалттай систем юм. Тиймээс бид тухайн шаардлагыг хангасан GNSS хиймэл дагуулын дохио хүлээн авагч ашиглан, микроконтроллерын тусламжтай мэдээлэл боловсруулан хэрэглэгчийн координатыг тогтоох, дамжуулах системийг зохиосон.

## 2. Арга зүй

### 2.1. Микроконтроллер дээр суурилсан байршил тогтоох систем

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

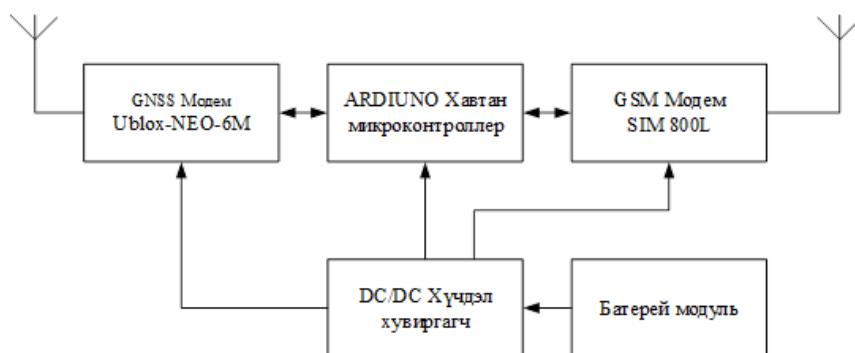
GNSS хиймэл дагуулаас бичил микросхем ашиглан дохио хүлээн авч, хэрэглэгчийн байршил, координатыг (уртраг ба өргөрөг) микроконтроллерын тусламжтайгаар тооцоолон, мэдээллийг өгөгдлийн сан бүхий серверийн программ хангамж руу GSM сүлжээгээр дамжуулдаг. GNSS системийн хиймэл дагуулын мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмжийн ажиллагааг доорх хэсэгт хүргэв.

### 2.2. GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмж

GNSS хиймэл дагуулуудаас ирэх радио долгионыг GNSS модем GNSS антенны тусламжтайгаар хүлээн авч боловсруулна. Энэ ажилд Швейцарын 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 [4].

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

Бид энэхүү системийг цаашид хөгжүүлэх боломжтой байхын тулд Open source байлгахар шийдэж, Arduino микроконтроллерын модулийг сонгосон. Мөн электроникийн эд анги, сэлбэг хэрэгслийн олдоч, гэмтэл эвдрэлийн үед засах боломжтой гэх мэт олон давуу талуудтай [5].



Зураг 2: GNSS системийн хиймэл дагуулуудаас мэдээлэл хүлээн авах төхөөрөмжийн блок схем.

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 хүчдэлээр 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 хүчдэлээр ханган тэжээнэ. Дахин цэнэглэгдэх батарей нь өөр дээрээ цэнэгийн хэмжээг илэрхийлэх гэрлэн диодын индикатораас гадна тогтмол гүйдлийн хүчдэлээр цэнэглэх оролттой. Дахин цэнэглэгдэх батарей нь мөн өөр дээрээ цэнэгийн хэмжээг хянах удирдлагын электрон схемтэй.

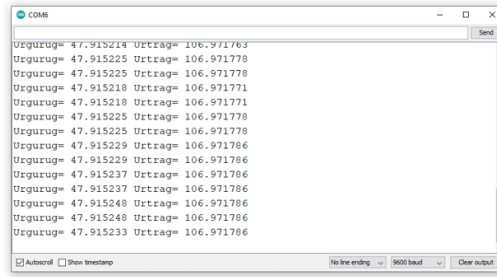
GSM модем нь боловсруулсан мэдээллийг буюу уртраг, өргөргийн утгыг өгөгдлийн сан бүхий серверийн программ хангамж руу илгээнэ.

### 2.3. GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл боловсруулах хэсэг

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 url= "gps.location.lat()";
String urlgn= "gps.location.lng()";
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ss.begin(GPSbaud);
  Serial.println("wait gps");
}

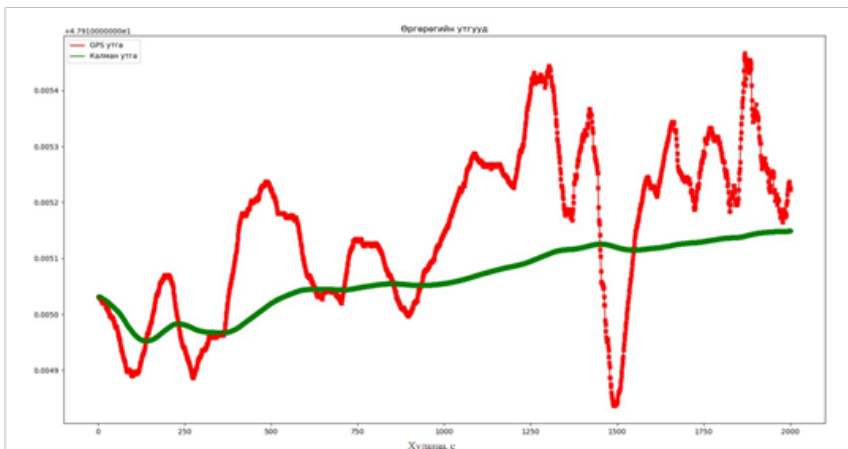
void loop() {
  while (ss.available() > 0) {
    gps.encode(ss.read());
    if (gps.location.isUpdated()) {
      Serial.print("Urgurug=");
      Serial.print(gps.location.lat(), 6);
      Serial.print(" Urtraq=");
      Serial.println(gps.location.lng(), 6);
    }
  }
}
```



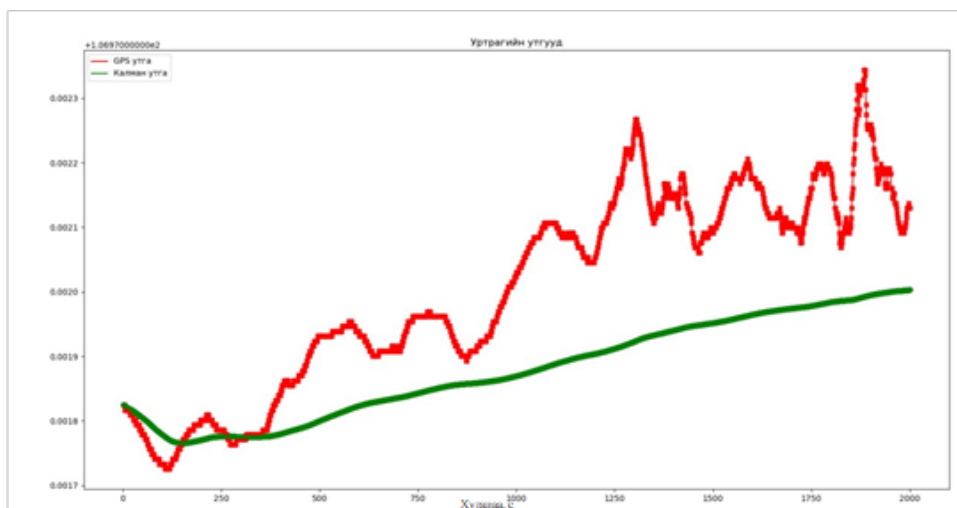
Зураг 3: GNSS хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авсан дохиог боловсруулах кодын хэсэг.

GNSS-ийн хиймэл дагуулууд нь ойролцоогоор 18000-19000км-ийн орбиттой ба хиймэл дагуулын дохио нь хүлээн авагчид ирэх хүртлээ агаар мандлын давхаргууд болон атмосферын төлөв байдлын улмаас төрөл бүрийн шуугианд өртдөг. Мөн хэрэглэгч хот суурин газарт байх үед өндөр барилга байшин, төмөр бетон бүтцүүд зэрэг нь хиймэл дагуулаас ирэх дохионд саад болж байршил тогтоох үеийн алдааг мөн нэмдэг.

Дээрх шалтгаануудын улмаас болон хиймэл дагуул тэнгэрийн хаяа руу орох үед мөн дохионы шуугиан нэмэгдэж, GNSS хүлээн авагчийн гаралтын дохионд тогтоогдсон алдаанаас гадна координатын огцом өөрчлөлтүүд гардаг. Эдгээр огцом өөрчлөлтөөс сэргийлэхийн тулд бид Калманы шүүлтүүр [6] ашигласан ба шүүгээгүй дохионы утгууд болон шүүлтүүр уртраг ба өргөргийн координатын дагуу хэлбэлзлийг нэг цэгийн утга дээр шүүж байгаагаар Зураг 4, 5-д хүргэв.



Зураг 4: GNSS хүлээн авсан дохионы өргөргийн утгууд шүүлтүүргүй ажиллах үед (улаан өнгөөр) болон Калман шүүлтүүрийн дараа.



Зураг 5: GNSS хүлээн авсан дохионы уртрагийн утгууд шүүлтүүргүй ажиллах үед (улаан өнгөөр) болон Калман шүүлтүүрийн дараа.

### 3. Үр дүн

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



Зураг 6: Хэмжилтийн цэгүүд болон явсан траектор (тасархай улаан шугамаар дүрслэв).

Зураг 6-аас харахад байршил хэмжих төхөөрөмж нь явсан траекторын 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 байршлыг 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 адаптив Калманы шүүлтүүр хэрэглэх, инерцийн навигацийн төхөөрөмж нэмэх, GSM сүлжээний суурь станцын байрлалын координатыг ашиглах зэргээр багасгах төлөвлөгөөтэй байна.

#### Ном зүй

- [1] “Global Navigation Satellite System,” (<https://www.princeton.edu/~alaink/Orf467F07/GNSS.pdf>)-хамгийн сүүлд хандсан огноо: 2022.10.17.
- [2] K. M. Ng, J. Johari, S. A. C. Abdullah, A. Ahmad, and B. N. Laja, “Performance Evaluation of the RTK-GNSS Navigating under Different Landscape,” *2018, 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), PyeongChang, Korea (South)*, pp. 1424-1428, 2018.
- [3] <https://globalgpssystem.com/gps-receivers/rtk-gnss-receivers/>.
- [4] “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.
- [5] <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>.
- [6] <https://web.archive.org/web/20181016052255/https://www.cl.cam.ac.uk/~rmf25/papers/-/Understanding%20the%20Basis%20of%20the%20Kalman%20Filter.pdf>.

# Global Navigation Satellite Data Processing Equipment

Narangii Baasansuren\*, Uuganbaatar Dulamragchaa, Bukhtsooj Odsuren,  
Battulga Ulziisaikhan

*Institute of Mathematics and Digital Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar  
13330, Mongolia*

*\*Corresponding author: narangii\_b@mas.ac.mn; ORCID:0000-0003-2344-7932*

*Article Info: Received: 2022.09.13; Accepted: 2022.10.01; Published: 2022.12.26*

---

**Abstract:** : In this work, a circuit-technical model of a data processing device for a global navigation satellite system (GNSS) was created. This prototype device was designed in accordance with the requirements of being able to determine the user's location within a circle error of 2.5-5m, low price, and good availability of parts. The Kalman filter was also used to reduce the effect of noise. The positioning device is powered by direct current and can be connected to the car's mains or battery.

**Key words:** positioning, GNSS, Arduino, trajectory, microcontroller

---