

# Энергийн Хэмнэлттэй Жигби Модулын Хөгжүүлэлт

Аюурзана Одгэрэл  
ШУТИС, КТМС, Компьютерийн Инженерийн Тэнхим  
[odgerel55@gmail.com](mailto:odgerel55@gmail.com),

Пүмбүүрэй Бумдүүрэн  
ШУТИС, КТМС, Компьютерийн Инженерийн Тэнхим  
[bumduuren@yahoo.com](mailto:bumduuren@yahoo.com)

**Хураангуй**—Энэ судалгааны ажлаар энергийн хэмнэлт бүхий утасгүй өгөгдөл дамжуулах Жигби модулыг (ZigBee Module) хөгжүүлж туршлаа. Жигби модулын радио өгөгдөл дамжуулалтанд Radiopulse компаний 2.4ГГц-ын давтамж ашигладаг MG2455-F48 чипийг ашигласан. Олон Жигби модулууд нийлж үүсгэсэн сүлжээг мэш (mesh) гэж нэрлэдэг бөгөөд Жигби модулуудын тэжээлийн асуудлыг батерей ашиглан шийддэг. Батерейны ажиллах хугацаа хязгаартай тул энергийг хэмнэх нь Жигби модулын чухал асуудлын нэг юм. Орчин үед модулын энергийн хэмнэлтийг түүнд ашиглаж байгаа өгөгдөл дамжуулах протоколоор нь дамжуулж хийх болсон. Нэг модулаас нөгөө модул руу хамгийн үр ашигтайгаар өгөгдөл дамжуулах алгоритмыг боловсруулж байна. Энэ ажлаар бид энергийн хэмнэлтийг програм хангамж буюу протоколын аргаар биш хардвей (hardware) аргаар шууд Жигби модул дээрээ хийж туршсан. Жигби модулд холбогдсон мэдрүүрүүдийн тэжээлийг контроллёроос удирдана. Зөвхөн шаардлагатай үед өгөгдөлөө дамжуулаад бусад үед энергийн хэмнэлтийн горимд орно. Уг модулыг бүх төрлийн ойрын зайн утасгүй өгөгдөл дамжуулалтанд ашиглаж болно.

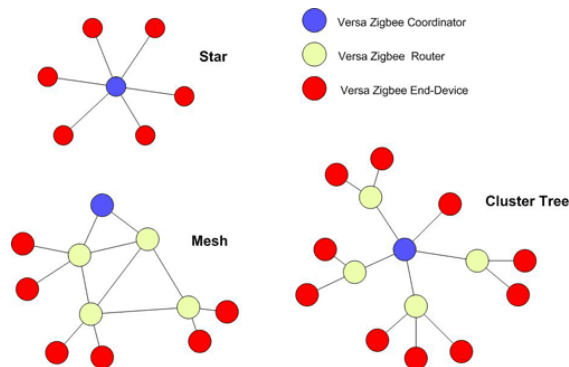
*Түлхүүр үг*— Мэдрүүр, MG2455, Горим, Батерей

## I. УДИРТГАЛ

Өнөө үед технологийн хөгжлийг дагаад электроникийн системүүдэд утас ашигласан технологиос зайлсхийж утасгүй технологиудыг ашиглах тал руу явж байна. Утасгүй технологи нь техник, эдийн засгийн хувьд олон давуу талуудтай юм. Утасгүйгээр ойрын зайд өгөгдөл дамжуулах RF, Bluetooth, UWB, Жигби (ZigBee) гэх мэт олон стандартууд боловсруулагдан хэрэглэгдэж байна. Эдгээрээс сүүлийн үед Жигби технологийг дэлхий даяар өргөн хэрэглэж байна. Жигби (Zigzag + Bee) гэдэг нь зөгийн цэцэг дамжин бал цуглуулахдаа цэцэгнүүдийн байрлал, хоорондын зай, чиглэлээр үүсгэсэн замаар өгөгдөл дамжуулалт болон сүлжээний топологи үүсгэж байгааг илэрхийлсэн үг юм.

Жигби технологийг IEEE 802.15.4 стандартад зохицон ажилдаг, өртөг багатай, овор хэмжээ

жижиг, цахилгаан бага зарцуулдаг байхаар тооцон боловсруулсан байдаг [1]. Мөн Од (1:1) /Star/, Кластер мод (1:n) /Cluster tree/, Мэш (1:n) /Mesh/ төрлийн сүлжээнүүд үүсгэх боломжтой. 50КБ хэмжээтэй хамгийн хялбархан энгийн өгөгдөл дамжуулах протоколтой. Сүлжээний багтаамж нь хамгийн ихдээ 65,536 Жигби модул хоорондоо холбогдож өгөгдөл солилцох боломжтой байдаг [2]. Уг модульд ашиглаж буй MG2455-F48 Жигби чипийн өгөгдөл дамжуулах хурд нь 250Kbps ~ 1Mbps. Жигбигийн стандарт протокол нь ZigBee 2006, 2007, PRO гэсэн хувилбаруудаар боловсруулагдан хөгжиж байна [3].



Зураг. 1. Жигби сүлжээний топологиуд

Дараах 3-н үүрэг бүхий Жигби модул байна.

- 1) Жигби Зохицуулагч - ZC (ZigBee Coordinator)
- 2) Жигби Чиглүүлэгч - ZR (ZigBee Router)
- 3) Жигби төгсгөлийн төхөөрөмж - ZED (ZigBee end device)

ZR нь сүлжээний ерөнхий зохицуулагчийн үүргийг гүйцэтгэх бөгөөд тухайн сүлжээнд нэг л байна. ZR нь сүлжээг өргөтгөхөд ашиглах бөгөөд ирсэн өгөгдөлийг бусад модулууд руу чиглүүлэгч хийж өгнө. ZED-д мэдрүүрүүд холбоотой байх ба мэдрүүрийн мэдээллийг ZR болон ZC-ээр дамжуулан мэдээллийн төв рүү авна.

Жигби модулуудын тэжээлийн асуудлыг батерей ашиглан шийддэг. Батерейны ажиллах хугацаа

хязгаарлагдмал учир энергийг хэмнэх нь чухал асуудлуудын нэг юм. Орчин үед модулын энергийн хэмнэлтийг түүнд ашиглаж байгаа өгөгдөл дамжуулах протоколоор нь дамжуулж хийх болсон. Мэш болон кластер мод топологуудаар сүлжээ үүсгэсэн бол нэг модулаас нөгөө мод руу хамгийн үр ашигтайгаар өгөгдөлийг чиглүүлж, дамжуулах алгоритм хэрэгтэй болно. MAC-I, MAC-II, Flooding, Gossip, LEACH зэрэг рүүт хийдэг протоколууд боловсруулагдан хөгжүүлж байна [4, 5, 6].

Жигби өгөгдөл дамжуулах модулд ашиглаж байгаа MG2455-F48 чип нь 2.4ГГц радио долгионоор өгөгдөл дамжуулах хэсэг болон 8051 төрлийн микроконтроллэрыг хамтад нь агуулсан SoC (System on Chip) чип юм. Кэйлийн компайлар (Keil Compiler) ашиглан кодоо бичнэ. Мөн уг чип нь 3 төрлийн энерги хэмнэлтийн горимтой (power down mode), 96KB програмын санах ойтой. Батерейгаа хянах боломжтой, дотроо температурын мэдрүүртэй гэх мэт давуу талуудтай.

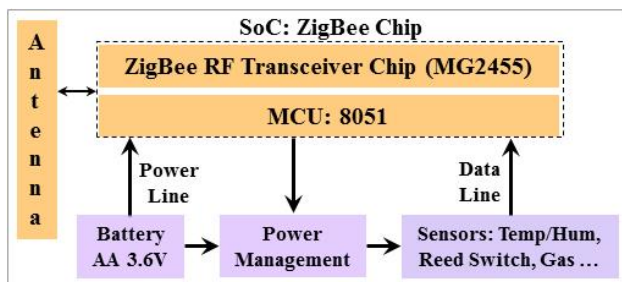
Антену төрөл, хэмжээнээс хамаарч 100м ~ 1000м хүртэл зайд өгөгдөл дамжуулах боломжтой. Дайпол (Dipole) ашигласан үед саадгүй орчинд 1000м, чип антен ашигласан үед саадгүй үед 150м хүртэлх зайд өгөгдөл дамжуулах боломжтой юм. Бид энэхүү судалгааны ажлаар чип антен ашиглан туршилт хийсэн болно.

Модулд холбогдсон мэдрүүрүүдийн (температур, чийг, нарны эрчим, агаарын бохирдол ...) тэжээлийн хэсгийг контроллэроос тэжээлийн свичийн чип (power switch) ашиглан удирдана. Мэдрүүрүүд зөвхөн шаардлагатай үедээ өөрсдийн өгөгдөлөө дамжуулах ба бусад үед энерги хэмнэлтийн горимд орж батерейгаа хэмнэх юм.

## II. Жигби модулын дизайн ба шийдэл

### A. Модулын бүтэц

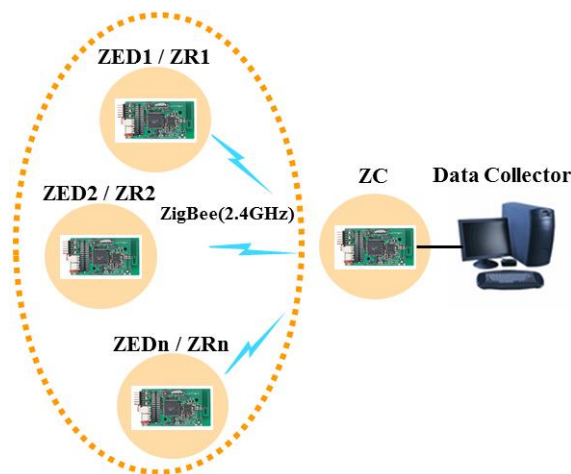
Жигби утасгүй өгөгдөл дамжуулах чипээр БНСУ-ын Радиопульс (Radiopulse) компанид хийсэн MG2455-F48-г сонгосон. Уг чип нь дотроо 8051 төрлийн микроконтроллэрыг агуулсан байдаг.



Зураг 2. Жигби модулын бүтэц

Зураг 2-д Хөгжүүлэлт хийсэн Жигби модулын бүтцийг харуулав.

Amotech компаний чип антен ашигласан. Мөн Vitro Cell-ийн ТЕKCELL загварын 3.6В, 2400 мА/h баттерейг ашигласан. MIC94060 схемээр мэдрүүрийн тэжээлийг удирдсан. ZC нь мэдээллийн төвийн компьютертай холбогдож тэжээлээ авна. ZR болон ZED батерейгаар тэжээгдэж ZC-рүү мэдрүүрийн өгөгдөлөө дамжуулна. Туршилтанд зураг 3-д үзүүлсэн шиг бүтцийн дагуу 1 ZC, 4 ZED ашигласан. ZC, ZR ба ZED хардвэй бүтцийн хувьд бүгд ижил бөгөөд програмын аргаар үүргийг нь тодорхойлдог. Зураг 3-г Жигби модулууд хэрхэн хоорондоо холбогдож сүлжээ үүсгэж байгаа бүтцийг харуулав.

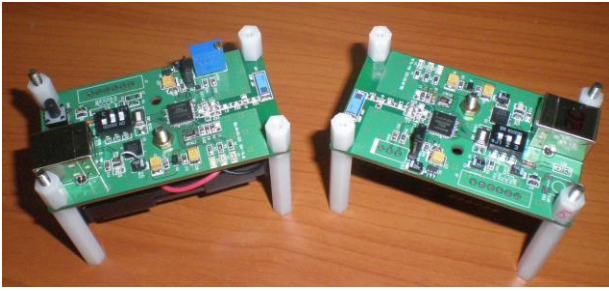


Зураг 3. Системийн бүтэц

Бүх модулуудыг нэг суваг дээр тохиргоо хийж, хаягуудыг өөр өөрөөр өгч програмчласны дараа асаахад хоорондоо групп үүсгэж мэдээлэл солилцох боломжтой болно. Мэдээлэл хэрхэн орж гарч байгааг ZC-тэй холбогдсон мэдээллийн төв дээр хянана.

### B. Жигби модулын ажиллах зарчим

Жигби модулд холбогдсон мэдрүүрүүд байнга асаалттай байх горим байж болох бөгөөд энэ тохиолдолд ямар нэгэн энергийн хэмнэлт байхгүй. Энерги хэмнэхийн тулд мэдрүүрүүдийн тэжээлийг Жигби чипний I/O портоор удирдана. Чип тодорхой заасан цагт сэргэ (wake-up) мэдрүүрүүдийн тэжээлийг өгч мэдээллийг нь ZC-рүү дамжуулаад буцаад энерги хэмнэлтийн (power down) горим руу шилжинэ. Энерги хэмнэлтийн горимд орох үед мэдрүүрийн тэжээлийг салгана.



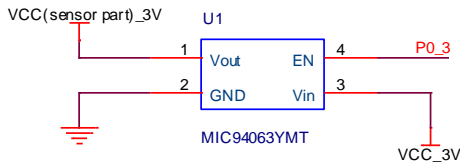
Зураг. 4. Хөгжүүлсэн Жигби модул

Зураг 4-т хөгжүүлсэн Жигби модулыг харуулав.

Дараах 2 аргаар мэдрүүрийн тэжээлийг удирдах боломжтой.

- 1) Жигби чипний I/O (3V, 15mA) портыг мэдрүүрийн тэжээлээр ашиглах. Энэ аргыг энгийн On/Off (Reed Switch) мэдрүүрүүд дээр ашиглахад тохиромжтой.
- 2) Тэжээлийн свич (Power Switch) хийдэг чипийг ашиглана.

Энэ ажилд 2-р аргыг ашигласан бөгөөд Жигби чипний P0\_3-р портоор мэдрүүрийн тэжээлийг удирдсан.



Зураг. 5. Мэдрүүрийн тэжээлийг удирдах хэлхээ

Мөн Жигби чип MG2455-F48 нь 3-н энерги хэмнэлтийн горимтой. Эдгээр 3-н энерги хэмнэлтийн горим болон мэдрүүрүүдийн тэжээлийг удирдах аргуудыг хослуулан модул энергийг хэрхэн хэмнэж болохыг туршсан. ZC нь дараах 2 аргаар ZR/ZED-ээс хэрэгтэй үедээ мэдээллээ авах боломжтой.

- 1) ZC-ийн явуулж байгаа мэдээлэлд ZR/ZED-ийг сэрээх цагийг оруулж явуулах
- 2) ZR/ZED нь тодорхой давтамжтайгаар сэргэж өгөгдөлөө шидээд буцах энерги хэмнэлтийн горимдоо орох

Хүснэгт. 1. MG2455-F48 Жигби чипний энерги хэмнэлтийн горим

Power Mode	PM0	PM1	PM2	PM3
AVREG	On	Off	Off	Off
DVREG	On	On	Off	Off
Main OSC	On	Off	Off	Off
Sleep Timer	On	On	On	Off
Wake-Up Sources	-	HW Reset, Sleep Timer INT, Ext INT	HW Reset, Sleep Timer INT, Ext INT	HW Reset, Ext INT
Current Consumption	Normal	25uA	2uA	< 1uA

Хүснэгт 1-д энерги хэмнэлтийн 3 горимын үед чипний аль хэсгүүд On/Off болж байгаа мөн горимын үеүүдийн гүйдлийн утгуудыг харуулав.

### III. ТУРШИЛТ, ҮР ДҮН

Рид свич (On/Off Reed Switch), фото, температур болон чийгний мэдрүүрүүдийг модулд холбож 3-н энерги хэмнэлтийн горим тус бүр дээр туршилт хийсэн. Tx Power буюу өгөгдөл дамжуулж байгаа чадлыг 8dBm болон 0dBm байхад туршилт хийсэн үр дүнг хүснэгт 2-т үзүүлэв. Дамжуулж байгаа пакетын хэмжээ 127 байт (Удирдлагын 120 байт + Өгөгдөл 7 байт).

Хүснэгт. 2. 3-н энерги хэмнэлтийн горимын үр дүн

Tx Power	No PD + Tx Current	Mode 1	Mode 2	Mode 3
+8dBm	50.3mA	50.6uA	47.3uA	45.8uA
0dBm	44mA	50.6uA	47.3uA	45.8uA

Дээрх туршилтыг хийдээ модулд ашиглаж байгаа идэвхтэй ачааллуудыг (regulator, reset switch, power switch, external interrupt switch) тооцсон болно.

Хүснэгт 2-ын тооцоон дээр үндэслэн батерейны ажиллах хугацааг тооцоолж гаргасан.

Модулын ажиллах нөхцөл болон параметр нь:

- 1) MG2455-F48 RF Chip
- 2) Temp=25°C
- 3) Vdd=3.0V
- 4) Core Voltage=1.5V
- 5) Clock=16MHz

$$I_{ACC} = T_{AT}[\%] * I_{AC} + T_{ST}[\%] * I_{SC} \quad (3.1)$$

$$T_{BLT} = \frac{B_{CAP}}{I_{ACC}} \quad (3.2)$$

$I_{ACC}$  : Average Consumption Current

$T_{AT}$  : Active Time

$I_{AC}$  : Active Current

$T_{ST}$  : Sleep Time

$I_{SC}$  : Sleep Current

$T_{BLT}$  : Battery Life Time

$B_{CAP}$  : Battery Capacity

$I_{ACC}$  : Average Consumption Current

Хүснэгт 3-д Жигби чипний батерейны ажиллах хугацааг тооцоолох параметруудыг тооцоолж оруулав.

Хүснэгт. 3. Батерейний ажиллах хугацааг тооцоолох параметрийн утга

Battery Life Time Calculation (SB-AA11 Model)	
Battery Capacity	2400mA/h * 90% = 2160mA/h
Active Time	1% (10ms, 1sec period)

Active Current	45mAh (MG2455, +8dBm, with Active MCU: 4.5mA)
Sleep Time	99% (990ms, 1sec period)
Sleep Current	50.6uA (Mode 1)
	47.3uA (Mode 2)
	45.8uA (Mode 3)

(1.1), (1.2) томъёонууд болон хүснэгт 3-аас батерейны ажиллах хугацааг тооцоолж хүснэгт 4-д үзүүлэв.

Хүснэгт. 4. Батерейний ажиллах хугацааг тооцоолох

Дамжуулах давтамж (1 өдөрт)	Хэмнэлтийн гүйдэл	Батерейны ажиллах хугацаа
86400 удаа (1 сек тутам)	50.6uA (Mode 1)	180 Өдөр
24 удаа (1 цаг тутам)		4.9 Жил

Хүснэгт 4-өөс харахад энерги хэмнэлтийн 1-р горимын үед өдөрт 24 удаа буюу 1 цагт 1 удаа өгөгдөл дамжуулахад батерейг 4.9 жил ашиглаж болно гэсэн тооцоог хийсэн. 2 болон 3-р хэмнэлтийн горимын үед дээрх хугацаа ихсэх нь тодорхой. Мөн батерейны ажиллаж байх үеийн болон хадгалалтын горимын цэнэг алдалтыг тооцох шаардлагатай.

Харин байнга асаалттай байх шаардлагатай мэдрүүр хэрэглэвэл батерейны ажиллах хугацаа мэдрүүрийн хэрэглэх чадлаас хамааран багасна.

#### IV. Дүгнэлт

MG2455 SoC чипийг ашиглан энергийн хэмнэлттэй Жигби модульг хөгжүүлж туршлаа. Овор хэмжээ, хэрэглээгээ тооцож чип антен ашиглаж туршилт хийсэн бөгөөд саадгүй орчинд 150 м хүртэлх зайд өгөгдөл алдаагүй дамжиж байсан. Модулд рид свич (On/Off Reed Switch), фото, температур болон чийгний мэдрүүрүүдийг холбож тэжээлийг нь Жигби чипнээс удирдсан. Мэдрүүрүүдийг зөвхөн өгөгдөл дамжуулах үед тэжээлийг нь өгөх ба бусад үед салгах зарчмаар ажиллах юм. Мөн MG2455 чипний гурван энерги хэмнэлтийн горимыг хослуулан ажиллуулсанаар 3.6В, 2400 mA/h баттерейг өдөрт 24 удаа (1 цаг тутам) өгөгдөл дамжуулахад 1-р энерги хэмнэлтийн горимоор ажиллуулах үед 4.9 жил ашиглаж болно гэсэн тооцоог хийсэн. Хэрэглээндээ тохирсон мэдрүүрүүдийг модулд холбож утасгүй өгөгдөл дамжуулалтын төрөл бүрийн системүүдэд хэрэглэх боломжтой.

#### НОМЗҮЙ

- [1] [1] Sinem Coleri Ergen "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary", Sep 10, 2004.
- [2] [2] ZigBee Alliance, Network Specification Version 1.0, Dec 2004.
- [3] [3] NXP "ZigBee PRO Stack User Guide" Dec 2012.

- [4] [4] Vamsi K Paruchuri, Arjan Duresi, Durga S Dash, Raj Jain "Optimal Flooding Protocol for Routing in Ad-hoc Networks" IEEE Wireless Communication and Networking Conference, February 2002.
- [5] [5] Z Haas, J Halpern, L Li "Gossip Based Ad Hoc Routing" IEEE Infocom Conference, September 2002.
- [6] [6] Harshavardhan Sabbineni, Krishnendu Chakrabarty "Location-Aided Flooding: An Energy-Efficient Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks" IEEE Transactions on Computers, April 2005.