

НЭЭЛТТЭЙ ЭХТЭЙ ҮЙЛДЛИЙН СИСТЕМ БҮХИЙ ЭМБЕДДЭД КОМПЬЮТЕР БҮТЭЭХ, СУРГАЛТАД АШИГЛАХ НЬ

Т.Төртогтох, М.Алтансүх, Б.Бат-Отгон, Д.Улам-Оргих
Монгол Улсын Их Сургууль, Физик Электроникийн Сургууль,
Хэрэглээний Физикийн Тэнхим
turtogtokh@num.edu.mn

Хураангуй—Бид энэ ажлаар ARM 11 процессорыг ашиглан нээлттэй эхтэй үйлдлийн систем бүхий эмбеддэд компьютер бүтээх, тэрхүү компьютер бүтээх арга барилыг өөрийн сургуулийн оюутнуудад эзэмшүүлэх зорилгоор эмбеддэд систем хичээлийн шинэ лабораторийн ажлуудыг боловсруулахыг зорилоо. Мөн гаргасан үр дүнгээ ашиглан электроник автоматжуулалт болон тоон дохио боловсруулалтад өөрсдийн хүссэн зүйлээ хийх өргөн боломжтой болохыг харууллаа

Түлхүүр үгс—эмбеддэд систем; ARM процессор; OK6410; лабораторийн ажил;

I. УДИРТГАЛ

Сүүлийн жилүүдэд маш хурдацтай хөгжиж байгаа салбар бол эмбеддэд систем буюу эмбеддэд компьютерын систем юм. Үүний тод жишээг ухаалаг буюу “smart” гэж нэрлэгдэх болсон төхөөрөмжүүдийн хэрэглээ болон үйлдвэллэлийн өсөлтөөс харж болно [1]. Эмбеддэд системийн цөм нь болсон микропроцессорын хурдацтай хөгжил энэхүү хөгжлийн гол түлхүүр болсон бөгөөд персональ компьютертэй ойролцоо хүчин чадалтай, үйлдлийн систем суулгах боломжтой, 32 битийн эмбеддэд микропроцессорууд үйлдвэрлэгдэх болсноор эмбеддэд компьютерын системийн хөгжлийг хурдыг хялбарчилж өгсөн юм. Тэр дундаа “Advanced RISC Machine” буюу (ARM) микропроцессор нь эмбеддэд технологийн тэргүүлэгч микропроцессор болоод байна [2]. Энэхүү дэлхий нийтийн мэдээлэл технологи, электроникийн хөгжлийн чиг хандлагатай өөрийн сургуулийн судалгааны чиглэл, хичээлийн сургалтын агуулгыг уялдуулан оюутнуудад зориулсан хичээлийн лабораторийн ажлууд гаргах нь бидний судалгааны ажлын үндсэн зорилго юм.

A. Эмбеддэд систем

Эмбеддэд систем нь нэг юм уу хэд хэдэн үүрэг даалгаврыг биелүүлэхэд зориулагдсан тодорхой зориулалт бүхий компьютерын систем юм. Микропроцессор нь дан ганцаараа эмбеддэд систем болж чаддаггүй бөгөөд нэмэлт электроникийн болон механик хэсгүүдийг багтааснаар тодорхой үүргийг гүйцэтгэж чадах төгс систем болж чадна [3].

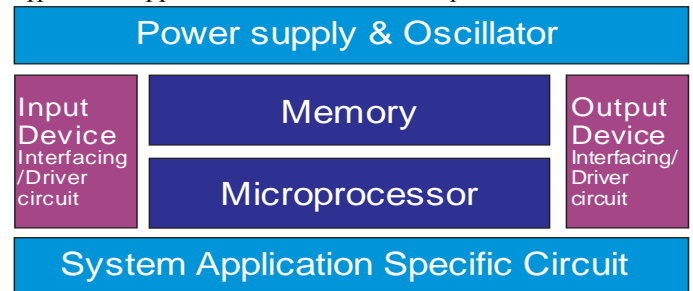
Эмбеддэд систем нь тодорхой үүрэг даалгаврыг л гүйцэтгэхэд зориулагдсан байдаг учраас ерөнхий зориулалттай системтэй харьцуулахад бага овор хэмжээ, бага эрчим хүчний зарцуулалт, хямд үнээрээ онцлог давуу талтай болж чадсан байна. Эмбеддэд системийг бугуйн цаг шиг зөөврийн жижиг төхөөрөмжөөс эхлээд тооцоолох электрон хэрэгслүүд, гар утас, дижитал зургийн аппарат, байрлал тогтоогч, MP3 тоглуулагч цаашлаад машин, хөргөгч, замын гэрлэн дохио, аж үйлдвэрийн тоног төхөөрөмж зэрэг бидний өдөр тутам ашигладаг бүхий л тоног төхөөрөмжийн удирдлагыг хийхэд ашиглаж байна.

B. Эмбеддэд системийн бүрдэл

Эмбеддэд системийг сонгохдоо хэд хэдэн үзүүлэлтийг тооцох шаардлагатай байдаг. Үүнд:

- Үнэ, өртөг
- Ерөнхий тооцоолох хурд
- Тусгай тооцоолох хурд
- Real-time буюу бодит хугацаа
- Найдвартай байдал
- Чадлын зарцуулалт

Эмбеддэд компьютерын систем үнэ өртөг багатай, хурдан, найдвартай мөн бага чадал зарцуулдаг бол сайн. Гэсэн хэдий боловч эдгээр үзүүлэлтүүд хоорондоо үргэлж зөрчилдөж байдаг. Жишээ нь процессорын хурдыг сайжруулахаар чадлын зарцуулалт ихэсдэг. Тиймээс эмбеддэд системийг ямар тодорхой зорилго, үүрэг даалгавар биелүүлдэг систем болохоос хамааран бүрдэл хэсгүүдийг оновчтой сонгох хэрэгтэй байдаг.



Зураг. 1. Эмбеддэд системийн техник хангамжийн бүрдэл

С. Эмбеддэд системийн програм хангамж

Програм хангамж бол тухайн Эмбеддэд системийн хамгийн чухал хэсэг байдаг. Учир нь эмбеддэд системийн юу хийх, хэрхэн ажиллахыг заасан үйлдлийн дараалал нь програм хангамж байна.

Эмбеддэд систем нь ажиллаж эхлэхдээ бэлтгэл, тохируулга хийх анхдагч програм (Initialisation and configuration) - аас эхлэн доорх диаграммын дагуу үйлдлийн систем, хэрэглээний програм ачаалан хэрэглэгчийн хялбархан ойлгох функц бүхий эмбеддэд систем болон ажилладаг байна.



Зураг. 2. Програм хангамжийн бүрдэл

Сүүлийн үед эмбеддэд системийг хөгжүүлэхэд програмчлалын талаас хийгдэг ёстой хамгийн суурь ажил бол дээрх сонгино мэт олон давхарга бүхий үе шатын хамгийн дотоод хоёр давхаргыг буюу бэлтгэл тохируулах хийх програм болон, үйлдлийн системийг суулгах явдал юм. Учир нь үйлдлийн системд зориулсан програмчлалын түвшин хаана ч адил өндөр түвшинд хөгжсөн учир хэрэглээний програм зэрэг үйлдлийн систем дээр ажиллах түүнээс гаднах давхаргын ажилуудыг хийхэд бэрхшээл учрахгүй. Харин тэрхүү үйлдлийн системийг эмбеддэд процессортоо тохируулан хөрвүүлэх, түүнд хэрэгцээтэй драйверуудыг таниулах, драйвер хийх зэрэг бэлтгэл ажлууд нь нэлээдгүй чухал юм.

II. АРГА ТЕХНОЛОГИ, ХИЙЦ

Аливаа техник, тоног төхөөрөмж нь бага энерги зарцуулж ажлын бүтээмж, ур чадвар өндөртэй, хямд төсөр, хор нөлөө багатай, байгаль орчинд ээлтэй байхыг зорьж хөгжсөөр өнөөдрийг хүрчээ. Бид энэ байдлыг харгалзан үзэж энэхүү судалгааны ажлаа хийсэн билээ.

А. Техник хангамжийн шийдэл, сонголт

Бид энэхүү ажилдаа ARM 11 төрлийн “core” бүхий самсунг фирмийн S3C6410 микропроцессорыг сонгон авч судаллаа [4]. Ийнхүү сонгох болсон шалтгаан нь өнөөдөр эмбеддэд микропроцессорын чиг хандлагыг ARM тодорхойлох болсон бөгөөд, хямд үнэ, өндөр хүчин чадалтай, хөгжүүлэх боломжтой зэрэг үзүүлэлтүүдийг харгалзан үзсэн болно.

Мөн энэхүү микропроцессорыг судлах, сургалтад ашиглах зорилгоор тус микропроцессорын бүхий л оролт гаралтын нэмэлт тоноглолуудаар тоноглогдсон хөгжүүлэгч хавтан OK6410-ийг сонгон авлаа [5]. Түүний чухал үзүүлэлтүүдээс дурдвал

- ARM1176JZF-S core, @ 533/667MHz процессор бүхий Samsung S3C6410 микроконтроллер
- 256MB Mobile DDRram шуурхай санах ой,
- 2GB NAND Flash тогтмол санах ой;
- 5V тэжээлийн үүсгүүр
- SD карт слот;
- WIFI өргөтгөх интерфэйс;
- 3.5”, 4.3”, 5.6”, 5.7”, 7” LCD дэлгэц болон “touchscreen” холбох боломжтой;
- CVBS (PAL/NTSC) гарлтын интерфэйс;
- CMOS камер өргөтгөх интерфэйс;
- USB host, OTG интерфэйс;
- IR хүлээн авагч;
- Buzzer, LED, User I/O
- Хэмжээ: 145 x 105mm

В. Програм хангамжийн шийдэл, сонголт

Нээлттэй эх кодтой линукс үйлдлийн системийн хэрэглээ эмбеддэд системийн програмчлалд илүү ашиглагддаг байна [6]. Линукс үйлдлийн системийн давамгайлалд түлхэц болсон хэд хэдэн томоохон давуу талууд бий. Эх код буюу хэн ч дураараа эх кодыг авч өөрчилж болох чөлөөт нээлттэй эрхтэй, олон тооны хэрэглэгч хөгжүүлэгчидтэй, файлын системийн нууцлал өндөртэй, програмчлалын C хэлнээс хөрвүүлэгддэг зэрэг давуу талууд нь уг үйлдлийн системийг эмбеддэд систем дэх хэрэглээг давамгайлахад ихээхэн түлхэц болжээ. Иймээс бид Линукс үйлдлийн системийг сонгож эмбеддэд системдээ ашиглалаа.

С. Эмбеддэд компьютер цогцлоох

Эмбеддэд систем цогцлоохдоо хэрэгцээтэй програмыг хөрвүүлэх, хөгжүүлэх, бэлдэх зорилгоор персональ компьютер дээр Ubuntu 12.04 үйлдлийн систем суулган CROSS-COMPILE “toolchain” –ийг тохируулсан байна.

- 1) *Линуксийн кернель болон эхлүүлэгчийг хөрвүүлэх:* Линуксийн кернелийн 2.6.36 болон 2.6.28 хувилбарууд, u-boot эхлүүлэгчийн 1.1.6 хувилбаруудыг **arm-linux-gcc-4.3.2 cross-compile хөрвүүлэгч ашиглан u-boot.bin**, болон **zImage** файлуудыг үүсгэж авна.
- 2) *Root файл систем үүсгэх:* **Buildroot** програмыг ашиглан линуксын файл системийг ARM1176jzf-

s процессорт зориулан хөрвүүлж. **Cramfs** эсвэл **rootfs.tar** зэрэг файл системийг гарган авна.

- 3) *Хавтанг програмчлах: DNW* програмыг ашиглан үүсгэсэн эхлүүлэгчийг NAND санах ойн 0 –оос 0x100000 хаяг дээр, кернелийг 0x100000 - 0x500000 дэх хаяг дээр, cramfs файлыг 0x500000-0x8000000 хаягууд дээр тус тус бичнэ.
- 4) *NFS файл систем үүсгэх:* Host буюу удирдлагын компьютер дээр **portmap nfs-kernel-server** програмуудыг суулган өөрийн үндсэн хавтаст nfs_root хавтсыг үүсгэж /etc/exports файл дээр тохируулга хийнэ. Дараа нь хавтанд тэжээл өгч U-boot эхлүүлэгчийг ажиллаж эхэлмэгц boot argument тохиргоо хийж ажиллуулна.
- 5) *QT график санг суулгах:* **Buildroot** програмыг линукс файлын системийн үүсгэх явцдаа buildroot-ийн menuconfig тохиргоонд дараах өөрчлөлтүүдийг хийнэ.
Package Selection for the target --->
Graphic libraries and applications (graphic/text)-->

[*] Qt --->

[*] Compile and install demos and examples (with code)

[*] Approve free license

Дараа нь файл системээ дахин хөрвүүлж үүссэн **rootfs.tar** файлыг **nfs_root** хавтас задалж сүлжээнээс файл системээ ачаалуулснаар QT график сан бүхий линукс ажиллах эхэлнэ.

- 6) *C++ хэл дээр хэрэглээний програм бичих:* Хост компьютер дээр QT-Creator програмыг суулгаж Tools → Options → Qt Versions цэсийг нээж хөрвүүлэгчийн замыг зааж өгнө. Шинээр project үүсгэж C++ хэлээр програмаа бичиж хөрвүүлнэ. Үүссэн програмаа хавтан руу хуулж, эсвэл nfs_root хавтаст хуулж ажиллуулна.
- 7) *Хавтанг Веб сервер болгон ашиглах:* Интернэтээс нээлттэй эхтэй Воа сервер програмын эх кодыг татаж авна. Компьютер дээрх Cross-compile хөрвүүлэгчээ ашиглан ARM-д зориулсан **boa** сервер програмыг гаргаж авна. Энэ файлыг хавтанруу хуулж /etc/boa/boa.config файл дээр хэрэгцээт тохиргоо хийж өгснөөр веб серверээр ажиллуулж болно.

III. ҮР ДҮН

Судалгааны ажлын үр дүн нь ARM процессор ашиглан Линукс үйлдлийн системд суурилсан тусгай зориулалтын компьютер бий болгосон үйл явц дарааллыг лабораторийн ажил болгон “Эмбедэд систем” хичээлд ашиглахад бэлэн болгов. Эдгээр лаборатори ажлууд нь ARM процессор бүхий ОК6410 хөгжүүлэгч хавтанг ашиглан процессорыг хэрхэн програмчлах, линукс үйлдлийн системийг хэрхэн бий болгох зэргээс эхлэн энэ хавтанг ашиглан өөрөө хэрэглээний програм бичиж удирдах, веб сервер суулган интернэтээр удирдах хэмжээнд хүртэл үйл явцыг дарааллын дагуу бичиж лабораторийн ажлуудыг гаргасан болно.

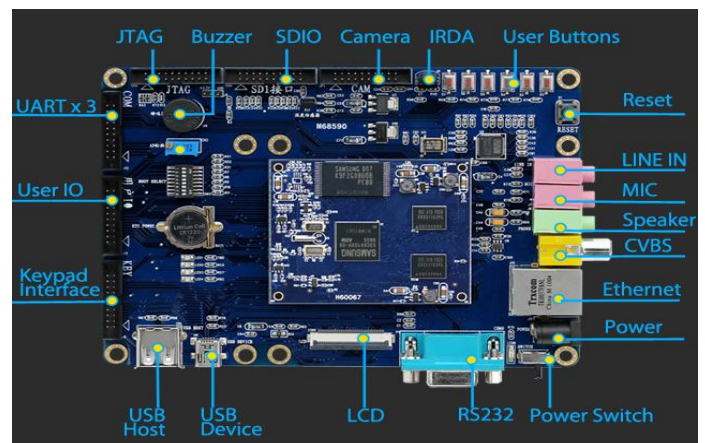
Үүнд:

- Хост компьютерийг ажилд бэлтгэх
- Хавтанг програмчлах
- “U-boot” эхлүүлэгч болон кернелийг хөрвүүлэх
- “NFS” сүлжээний файл систем ажиллуулах
- “Buildroot” ашиглан “root” файлын систем үүсгэх
- “Buildroot” ашиглан QT-г хөрвүүлэх
- Хэрэглээний програм бичиж ажиллуулах
- Веб сервер суулгах, ажиллуулах
- Интернэтээр LED, Buzzer зэрэг оролт гаралтыг удирдах, хөгжүүлэх

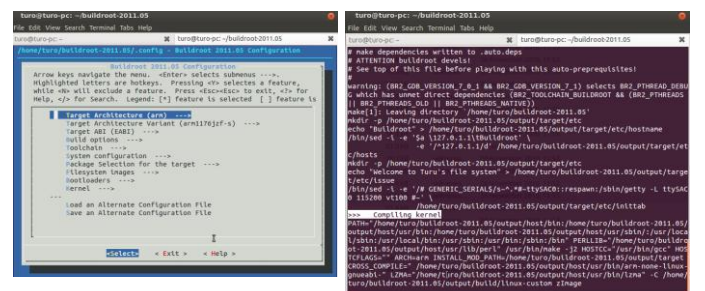
Лабораторын веб хуудас:

<http://sites.google.com/site/turtogtox>

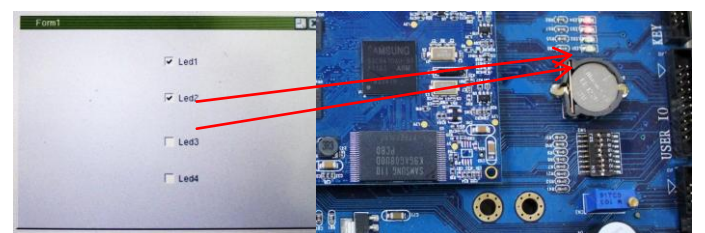
Өөр нэг үр дүн бол уг хөгжүүлэгч хавтан дээр линукс үйлдлийн системийн бичил хувилбарыг хөрвүүлэн суулгаж ажиллуулсан болно.



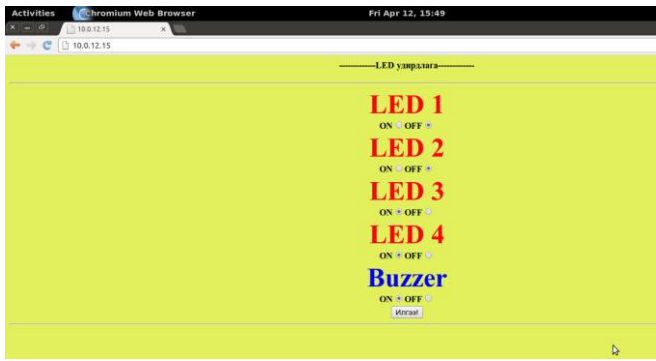
Зураг 3. ОК6410 хөгжүүлэгч хавтан



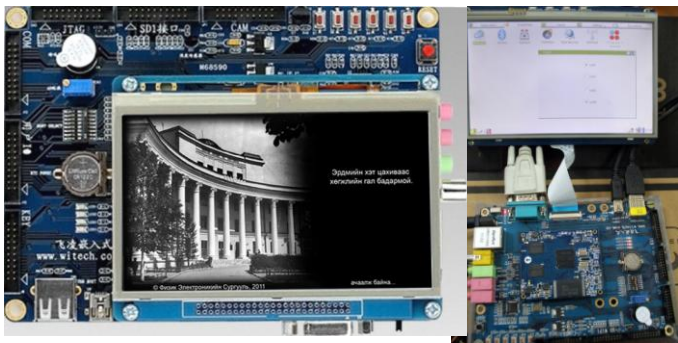
Зураг 4. Кернел хөрвүүлэлт



Зураг 5. Хавтан дээр LED удирдах жишээ үзүүлж буй нь



Зураг. 6. Вeб интерфэйс, LED болон Buzzer-ийг Chrome хөтөчөөс удирдаж буй жишээ



Зураг. 7. Хавтан дээр өөрсдийн хөрвүүлсэн Линукс ачааллаж байгаа байдал, 4.3 болон 7 инчийн LCD дэлгэцийн хамт

IV. ДҮГНЭЛТ

Бид энэхүү судалгааны ажлыг хийснээр дараах үр дүнд хүрсэн

- ARM 11 бүтэц бүхий микропроцессорт зориулсан Эмбеддэд Линукс үйлдлийн системийг бий болгох аргачлал, арга барилыг эзэмшихийн зэрэгцээ Линукс үйлдлийн системийг хэрхэн бий болгодог арга барилаас суралцсан.
- NAND Flash санах ойг програмчлах 2 төрлийн аргачлалыг эзэмшсэн
- Эдгээр арга, зааврыг “Эмбеддэд систем” хичээлийн лаборатори ажил болгосон
- Android үйлдлийн системийн ARM процессорт зориулсан хувилбарыг хөрвүүлж амжилттай ажиллуулсан. Түүн дээр хэрэглээний програм бичиж Bluetooth модулиар төхөөрөмж удирдсан.
- Мөн Линукс үйлдлийн системийн Debian, XUbuntu зэрэг хувилбаруудыг SD картнаас ачааллаж амжилттай ажиллуулсан

Цахим засаглал, Мэдээллийн технологи

- Өөрсдийн бий болгосон Линукс үйлдлийн системийг NFS(Network File System) –ээр дотоод сүлжээнээс ачааллан амжилттай ажиллуулсан
- Нэмэлт модулиудыг (buzzer, led ,.. гм) хөгжүүлэгч хавтантай холбож хэрэглээний програмаар, мөн интернет сүлжээгээр удирдаж туршиж ажиллуулсан.
- Өөрийн сургууль дээр орчин үеийн электроникийн чиг хандлагын тусгасан, зардал багаатай, цаашид хөгжүүлэх бүрэн боломжтой, ач холбогдол бүхий сургалтын чиглэлийг эхлүүлсэн.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү ажлыг хийхэд бодит туслалцаа үзүүлсэн ФЭС-ийн захирал Проф. Ж.Даваасамбууд чин сэтгэлийн талархал илэрхийлье.

НОМ ЗҮЙ

- [1] Peter Farago, “iOS and Android Adoption Explodes Internationally.” [Online]. Available: <http://blog.flurry.com/bid/88867/iOS-and-Android-Adoption-Explodes-Internationally>. [Accessed: 12-Apr-2013].
- [2] “ARM Holdings eager for PC and server expansion • The Register.” [Online]. Available: http://www.theregister.co.uk/2011/02/01/arm_holdings_q4_2010_numbers/. [Accessed: 23-May-2012].
- [3] S. Heath, *Embedded Systems Design*. Newnes, 2003.
- [4] “S3C6410 ARM11 Mobile Processor by Samsung Electronics Co., Ltd - ARM Connected Community.” .
- [5] “Embedded Linux - OK6410 wiki.” [Online]. Available: [http://www.arm9board.net/wiki/index.php?%20title=E mbedded_Linux](http://www.arm9board.net/wiki/index.php?%20title=E%20mbedded_Linux). [Accessed: 27-May-2012].
- [6] “Snapshot of the embedded Linux market -- April, 2007 - Linux For Devices Articles - Linux for Devices.” [Online]. Available: <http://www.linuxfordevices.com/c/a/Linux-For-Devices-Articles/Snapshot-of-the-embedded-Linux-market-April-2007/>. [Accessed: 24-May-2012].
- [7] “Dnw4Linux - OK6410 wiki.” [Online]. Available: <http://www.arm9board.net/wiki/index.php?title=Dnw4Linux>. [Accessed: 23-May-2012].
- [8] “Processors - ARM.” [Online]. Available: <http://arm.com/products/processors/index.php>. [Accessed: 27-May-2012].