

**CAN buszos \_\_FIXME\_\_  
megvalósítása ARM Cortex-M3  
alapú mikrovezérlővel**

**nagyon**

**DRAFT**

---

---

# Tartalomjegyzék

<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>4</b>
<b>Bevezetés .....</b>	<b>5</b>
<b>1. A teleport és időgép felépítése .....</b>	<b>6</b>
<b>2. Az ARM processzorok .....</b>	<b>8</b>
2.1. Történeti áttekintés .....	9
2.2. Az ARM Cortex-M3 blokkvázlata .....	12
2.3. Szoftverfejlesztés ARM processzorra .....	12
2.3.1. C/C++ fordító fordítása ARM architektúrára .....	12
2.3.2. C/C++ program írása ARM architektúrára .....	14
2.3.3. Kód letöltése, hibamentesítés .....	20
2.4. Gyártóspecifikus hardver kezelése .....	28
<b>3. USB-CAN átalakító .....</b>	<b>29</b>
3.1. A CAN busz működése és használata .....	29
3.2. Kommunikáció a PC-vel: az USB .....	29
3.3. Az USB-CAN átalakító megépítése .....	29
<b>4. A teleport és időgép kialakítása .....</b>	<b>30</b>
4.1. Motiváció, hardver specifikáció .....	30
4.2. A teleport és időgép felépítése .....	30
4.2.1. Blokkvázlata, működése .....	30
4.2.2. Kapcsolási rajza, NYÁK-terve .....	30
4.2.3. Szoftver keretrendszer .....	30
4.3. Kommunikáció az átalakítóval és más CAN-es eszközzel .....	30
<b>5. Továbbfejlesztési lehetőségek .....</b>	<b>31</b>
<b>6. Összefoglalás, végkövetkeztetés .....</b>	<b>33</b>
<b>7. Címsor 1 .....</b>	<b>35</b>
7.1. Címsor 2 .....	35
7.1.1. Címsor 3 .....	35
7.1.1.1. Címsor 4 .....	35
7.1.2. Tisztelet Sákjamuni buddhának .....	35
<b>8. Felhasznált szoftverek .....</b>	<b>37</b>
<b>9. Felhasznált irodalom .....</b>	<b>37</b>

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet konzulensemnek, \_\_FIXME\_\_-nek (AKI KITALÁLJA, HOGY MIT CSINÁLJAK, AZ LESZ A KONZULENSEM - KOMOLYAN!), és **Krüpl Zsolt** okleveles villamosmérnöknek, akik áldozatos munkájukkal, ötleteikkel és nélkülözhetetlen szakmai tanácsaikkal segítettek a dolgozat megírásában.

Szintén hálával tartozom a lektoromnak, **Körmendi Zita** kommunikációs szakembernek, aki erején felül teljesítve azon fáradozott, hogy a dolgozat mindenfajta - helyesírási, stilisztikai és logikai - hibától mentesen kerülhessen az Olvasó elé.

Köszönet illeti még egyik fő támogatómat, az ST Microelectronics Company-t: munkatársai számos mikrovezérlővel járultak hozzá a diplomamunkám létrejöttéhez.

Ez a dokumentum szabad szoftver, szabadon terjeszthető és/vagy módosítható a **GNU Free Documentation License**-ben leírtak szerint.

Minden tőlem származó forráskód szabad szoftver, szabadon terjeszthető és/vagy módosítható a **GNU General Public License 3**-ban leírtak szerint.

# Bevezetés

Azért, mert diplomamunka. Leírni, hogy mi lesz, miért és hogyan.

Melléktermékek keletkeznek: egy USB-CAN átalakító és egy szoftver framework.

**A „Lorem Ipsum” egy nyomdatechnikai szöveg, melynek csak kitöltő szerepe van, nem része a diplomamunkának.**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce purus libero, iaculis sit amet, suscipit id, sagittis in, dolor. Morbi consectetur rhoncus felis. Fusce dolor metus, luctus congue, molestie in, dapibus ut, eros. Suspendisse quam. Mauris id urna a justo fringilla iaculis. In hac habitasse platea dictumst. Aenean pharetra ultrices eros. Etiam rutrum semper nunc. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aliquam tortor tellus, sollicitudin a, eleifend a, rhoncus in, sem. Pellentesque lobortis felis vitae massa. Phasellus iaculis augue a dui elementum elementum. Mauris risus. Sed sem enim, aliquam accumsan, pharetra vitae, cursus sit amet, erat.

Praesent pulvinar, magna ut ultrices consectetur, nisl dolor imperdiet risus, id pretium purus sapien sed diam. Maecenas ut enim at tortor porta sodales. Nulla eget magna eget tellus venenatis rhoncus. Vestibulum vestibulum. Aliquam semper augue id nulla. Proin accumsan laoreet sapien. Vivamus tristique nisi sed quam. Aliquam eget sapien. Etiam pharetra, nisl id imperdiet adipiscing, lorem elit fringilla lorem, eget pretium augue lacus eget nulla. Curabitur sit amet dolor id turpis malesuada blandit.

A szerző

Budapest, 2008. november 22.



# 1. A teleport és időgép felépítése

Ide kerül a \_\_FIXME\_\_ rövid leírása, specifikációja és blokkvázlata.

Mivel lesz benne CAN, rajzolj egy hálózati topológiát. Legyen benne bridge is (tipikusan az USB-CAN átalakító).

Le kellene írni a blokkok funkcióját, és azt, hogy ezek mivel, hogyan vannak megoldva. Csak nagy vonalakban.

Szépen rávezetni az ARM processzorra.





## 2. Az ARM processzorok

Felmerül a kérdés, hogy miért éppen ARM alapú mikrovezérlővel oldottam meg a kitűzött feladatot. A válasz alapvetően egyszerű: ez a processzor család tagjai kiváló tulajdonságokkal rendelkeznek, ezen tulajdonságok nagy mértékben lerövidítik és megkönnyítik a fejlesztést és tesztelést. Az általam ismert 8 bites mikrovezérlők egyike sem rendelkezik ilyen mértékű rugalmassággal, és teljesítményben, perifériakiépítettségben is elmaradnak a ma kapható ARM Cortex-M3 mikrovezérlőkhöz képest.

Az előbb említett tulajdonságok a következők (csak a legfontosabbakat emeltem ki):

- 32 bites felépítés. Ez lehetővé teszi, hogy az aritmetikai műveletek argumentumai 32 bitesek legyenek, ami nagyobb pontosságot tesz lehetővé.
- A 32 bites regisztereknek köszönhetően 4 GB címtartomány címezhető meg közvetlenül. Ebben a címtartományban vannak kialakítva a memóriák (FLASH és SRAM) és a perifériakészlet regiszterei is.
- 32 bites ARM és 16 bites Thumb utasítások (a Cortex-M3 csak a Thumb2-t ismeri) végrehajtására is képes.
- A processzor több futtatási módot tartalmaz: lehetőség van a rendszer- és a felhasználói kód szétválasztására. Ez növeli a beágyazott rendszer biztonságát és megbízhatóságát. Ezt persze nem feltétlenül szükséges igénybe venni.
- Számos egységet beépítve tartalmaz: gyakran MMU<sup>1</sup>-t, MPU<sup>2</sup>-t, FPU<sup>3</sup>-t, ETM<sup>4</sup>-et, megszakításkezelőt terveznek bele az ARM cég mérnökei.
- A csipgyártók még számos perifériával egészítik ki a processzor magot: számlálókkal, kommunikációs eszközökkel, (gyakran 12 bites) A/D és D/A átalakítókkal, stb.
- Kiváló szoftveres támogatással rendelkezik: a GCC fordít ARM processzorra. Az OpenOCD<sup>5</sup> számos csipgyártó termékét támogatja.

Az ARM család az idők folyamán számos taggal bővült. Az újabb tagok megjelenése nem mindig járt a processzor magjának teljes lecserélésével. Elmondható, hogy az ARM

---

1 Memory Management Unit – memóriakezelő egység, operációs rendszerek futtatásához szükséges.

2 Memory Protection Unit – memóriavédelmi egység, az egyszerűbb beágyazott rendszerek megvédhetik a memória egy részét az illegális hozzáféréstől.

3 Floating Point Unit – lebegőpontos egység, a lebegőpontos számok kezelésének hardveres támogatásához

4 Embedded Trace Macrocell – beágyazott nyomkövető egység, hibakeresésre használatos

5 Open On-Chip Debugger – nyílt forráskódú programozó és nyomkövető szoftver

processzorok csoportosíthatók aszerint, hogy a processzor belseje milyen felépítéssel (architektúrával) rendelkezik. Ebből persze az következik, hogy egy adott architektúrát több processzorban is megtaláljuk.

Ha két processzor kialakításához ugyanazt az architektúrát használták, akkor vajon mi lehet a különbség a processzorok között? Úgy foglалhatnám össze, hogy a két mag ugyan megegyezik, de a processzorok más-más kiegészítőkkal rendelkeznek. Pl. az ARM966 nem tartalmaz MMU-t, míg az ARM926-ban ez ki van alakítva, pedig mindkét processzor architektúrája ARMv5. A csipgyártó szabadon eldöntheti, hogy szeretne-e MMU-t kialakítani a csipben. Ha igen, akkor az ARM926 mellett dönt, ha nincs szükség MMU-ra, akkor pedig az ARM966-ot vásárolja meg az ARM cégtől (az ARM cég nem gyárt csipet, csak megtervezi azt, és a kész terveket – intellektuális tulajdont (IP) – adja el).

Hogy kis rendet hozzak a káoszba, a következő részben összefoglalom, hogy a kezdeti időktől napjainkig hogyan alakultak az ARM processzorok.

### 2.1. Történeti áttekintés

Ebben a részben az ARM<sup>6</sup> processzorok fejlődésének menetét foglалom össze. Sajnos nincsen lehetőség arra, hogy minden processzor kiadásról részletesen írjak, így csak a jelentősebb állomásokat fogom szemügyre venni.

Az ARM (Advanced RISC Machine – fejlett, csökkentett utasításkészletű gép) processzorok fejlesztése 1983-ban kezdődött az Acorn<sup>7</sup> cégnél. Az első, ténylegesen használható kiadás az **ARM2**-es volt, és 1984-től érhető el a piacon. Ennek még 26 bites volt a PC<sup>8</sup>-je, és mindössze 30.000 tranzisztort tartalmazott (a Motorola 68000<sup>9</sup>-es processzora 70.000-et).

Ezután hihetetlen sebességgel folytatódott a fejlesztés. A következő, igen elterjedt processzor az **ARM7TDMI** volt (ARMv4-es architektúrával). Ma is számos gyártó alkalmazza mikrovezérlőkben:

- Atmel AT91SAM7<sup>10</sup>,
- NXP LPC2000,
- ST STR7,
- Analog Devices ADUC7000,
- Texas Instruments TMS470, stb.

---

6 [http://en.wikipedia.org/wiki/ARM\\_architecture](http://en.wikipedia.org/wiki/ARM_architecture)

7 [http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn\\_computers](http://en.wikipedia.org/wiki/Acorn_computers)

8 Program Counter – utasításslámláló, az aktuális/következő utasítás címét tartalmazza.

9 [http://en.wikipedia.org/wiki/Motorola\\_68000](http://en.wikipedia.org/wiki/Motorola_68000)

10 <http://en.wikipedia.org/wiki/AT91SAM>

Az ARM7TDMI rendkívüli népszerűségének alighanem az az oka, hogy a processzor elég egyszerű felépítésű, sem MMU-t, sem MPU-t, sem FPU-t, sem cache-t nem tartalmaz, így nagyon költséghatékonyan (olcsón) tudják a lapkagyártók előállítani. Egyszerűsége ellenére elmondható róla, hogy tartalmaz mindent, amit egy modern processzortól elvárunk: 32 bites regiszterek, processzor üzemmódok, kivételkezelés, 1 órajeles utasítások (ez csak részben igaz).

A fejlesztés hamar eljutott az **ARM9**-es processzorokhoz. Z ARM9-es processzorok ARMv4-es és ARMv5-ös architektúrájúak lehetnek. A régebbi processzorok (ARM9TDMI, ARM920, ARM922, ARM940) v4-esek voltak. Érdekes megfigyelni, hogy a régebbi architektúra ellenére az ARM cég mérnökei terveztek MMU-t és cache-t a processzorokhoz (ARM920, ARM922). Ez azért lehet érdekes, mert a Linux igényli az MMU meglétét, tehát ha egy processzor tartalmaz MMU-t, akkor azon képes lehet elfutni. És valóban, az ATMEL cég AT91SAM9200-as processzora köré épített demo boardon fel tud BOOT-olni a Linux.

A későbbi ARM9-ek már kivétel nélkül ARMv5 architektúrával készültek. Ezek nagy előnye, hogy képesek DSP<sup>11</sup> utasítások futtatására (ha a processzor neve „E” betűt tartalmaz: mindegyik tartalmaz). Ha a processzor nevében „J” betű is található (ARM926EJ-S), akkor az képed Java bájtkódot natív módon futtatni. Ez mobil telefonok esetén lehet érdekes, ahol különösen fontos szempont a játékprogramok hordozhatósága.

Az ARM926EJ-S processzor különleges tulajdonsága, hogy rendelkezik MMU-val, és cache-sel, így építhető olyan áramkör, amin fut a Linux. Nürnbergben, a beágyazott rendszerek kiállításán nagyon sok olyan megoldást láttunk, amin valóban Linux futott. Az ATMEL cég kiváló processzorokat gyárt AT91SAM9260, AT91SAM9261, AT91SAM9262 és AT91SAM9263 néven.

A többi ARM9-es, és ARMv5-ös architektúrájú processzor nem tartalmaz cache-t, sőt gyakran még MPU-t sem. Ez a tulajdonságuk alkalmassá teszik ezeket az eszközöket, hogy mikrovezérlők processzorai legyenek. Ilyen lapkákat gyártott pl. az ST Microelectronics (STR9xxx ARM966E maggal – honlapjuk szerint elavult termék, gyártását befejezték).

A mai, modern ARM-ok az **ARM11**-nél kezdődnek. Ezek valódi applikációs processzorok, arra tervezve, hogy PDA-k, palmtop-ok, GPS-ek, vagy bármilyen, számítás- és erőforrásigényes alkalmazások processzorai legyenek. Természetesen ezek mind képesek DSP utasítások futtatására, SIMD<sup>12</sup> utasításokat is végrehajtanak, Java kódot is tudnak futtatni, az MMU mindegyikben megtalálható, opcionálisan lebegőpontos segédprocesszorral is fel vannak szerelve. Nem kisebb gyártók használják, mint a Nokia a mobiltelefonjaiban, az Apple az iPhone<sup>13</sup>-ban és az iPod touch-ban. Az ARM11 már ARMv6 architektúrájú.

---

11 Digital Signal Processor – digitális jelfeldolgozó processzor

12 Single Instruction Multiple Data – egyazon utasítás több adaton

13 <http://en.wikipedia.org/wiki/IPhone>

Itt érkeztünk el napjaink legújabb processzoraihoz: az **ARM Cortex**-hez. Ennek az ág-nak az ARM cég nevet adott, ezzel jelezve hogy fontos mérföldkőhöz érkeztünk. Ezek a processzorok (az M1-től eltekintve) ARMv7 architektúrájúak.

Az előbb említett **ARM Cortex-M1** ARMv6-os, és az az érdekessége, hogy FPGA-ban kiválóan használható szoftver processzorként. Méretére jellemző, hogy belefér egy XILINX Spartan-3 FPGA-ba. Csak az új generációs Thumb2<sup>14</sup> utasításokat tudja futtatni. Sem MMU-t, sem MPU-t, sem cache-t nem tartalmaz.

Az **ARM Cortex-M3** processzor már ARMv7-es, tehát a legújabb fejlesztéseket tartalmazza. Kifejezetten arra optimalizálták, hogy mikrovezérlő készüljön belőle. Csak Thumb2 utasításokat tud futtatni, azt viszont nagyon hatékonyan teszi. Opcionálisan MPU-val „felszerelve” szállítják. Jelenleg két csipgyártó forgalmaz ARM Cortex-M3 alapú eszközöket. Mindkettő beépíti az MPU-t. Itt mondanám el, hogy az ATMEL, a nagy múlttal rendelkező Zilog és az NXP is vásárolt ARM Cortex-M3 licenszt, így a közeljövőben várható, hogy ők is elkezdnek ilyen csipeket forgalmazni.

Említettem, hogy az ARM cég néven nevezi ezt az ágot. Ez nem véletlen: párhuzam vonható a Cortex processzorok és a „klasszikus” csipek között. Tudását, komplexitását tekintve a Cortex-M3 leginkább az ARM7(TDMI)-tel mérhető össze.

Az **ARM Cortex-R4(f)** processzor leginkább az ARM9-hez hasonlít. Sokat azonban nem lehet tudni róla, mert az ARM honlapján nem található meg a megfelelő felhasználói kézikönyv. Annyi azonban bizonyos – megkérdeztem tőlük személyesen – hogy egy nagyon fejlett megszakításvezérlővel építik egybe, amely megszakításvezérlő képes több processzor között elosztani a megszakítási kéréseket (statikusan programozható). Opcionálisan lebegőpontos egységet (FPU) tartalmaz, erre utal az „f” betű a nevében. A Thumb2 mellett az ARM utasításokat is tudja futtatni.

A technika csúcsát az **ARM Cortex-A8** és az **ARM Cortex-A9** processzor képviseli. Képességeit tekintve az ARM11-hez állnak a legközelebb, de messze túl is szárnyalják azt. A ThumbEE-nek (Thumb Execution Environment – Thumb végrehajtási környezet) köszönhetően javul számos szkriptnyelvű kód (Python, Perl, Limbo, Java, C#) futtatási sebessége. A TrustZone (megbízható övezet) technológia azzal a képességgel ruházza fel a processzort, hogy képes legyen megbízható és kevésbé megbízható kódok egymástól teljesen szeparált futtatására. Ennek köszönhetően javul a rendszer megbízhatósága és biztonsága.

A csipgyártók közül csak a Texas Instruments használ ARM Cortex-A8 processzort. Ez mag található az OMAP3<sup>15</sup> (Open Multimedia Application Platform – nyílt multimédia platform) processzorban, ami kiválóan alkalmazható multimédiás termékekben (Pandora<sup>16</sup>).

---

14 16 vagy 32 bites utasítások, de nagymértékben eltérnek a „klasszikus” ARM utasításoktól, melyek mindig 32 bitesek.

15 <http://en.wikipedia.org/wiki/OMAP>

16 [http://en.wikipedia.org/wiki/Pandora\\_\(console\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pandora_(console))

Nem lehetetlen, hogy mire beadom ezt a dolgozatot, változni fog a helyzet, talán új processzorok jelennek meg, de egy valamit biztosan állíthatok: **az általam megépítendő \_\_FIXME\_\_-ben ARM Cortex-M3-at fogok használni.**

## 2.2. Az ARM Cortex-M3 felépítése

A szoftverfejlesztéshez feltétlenül szükségesnek tartom, hogy tisztában legyünk az ARM processzorok felépítésével. Így kiderül majd, hogy miért jelent hihetetlen előnyt a lineáris címtartomány, vagy a perifériák adott memóriaterületre való „beépítése”.

ARM9-től kezdve a processzorok Harvard architektúrájúak. Nincsen ez másként a Cortex processzorok esetén sem. A Harvard architektúra annyiban különbözik a von Neumann architektúrától, hogy külön buszt használ az utasítások és az adatok „kezelésére”, vagyis más útvonalon érkeznek a végrehajtandó utasítások a FLASH memóriából, és más útvonalon közlekednek az adatok a processzor és a RAM között.

Azért, hogy a processzor végül mégis lineáris címekkel tudjon dolgozni, egy busz-mátrixot terveztek a gyártók a processzorhoz.

Az utasítások „hagyományosan” a FLASH-ből érkeznek a processzorba, az adatterület pedig a RAM-ba kerül. Ha egy konstans sztringet szeretnénk küldeni a felhasználónak (például soros porton keresztül), akkor nem lenne túl célravezető, ha a konstans, tehát nem változó karaktersorozat a RAM-ban tárolnánk. De nem lenne éppen optimális megoldás az sem, ha egy DSP művelethez használt szinusz táblát (ami megint csak konstans adatokat tartalmaz) a RAM-ba töltenénk.

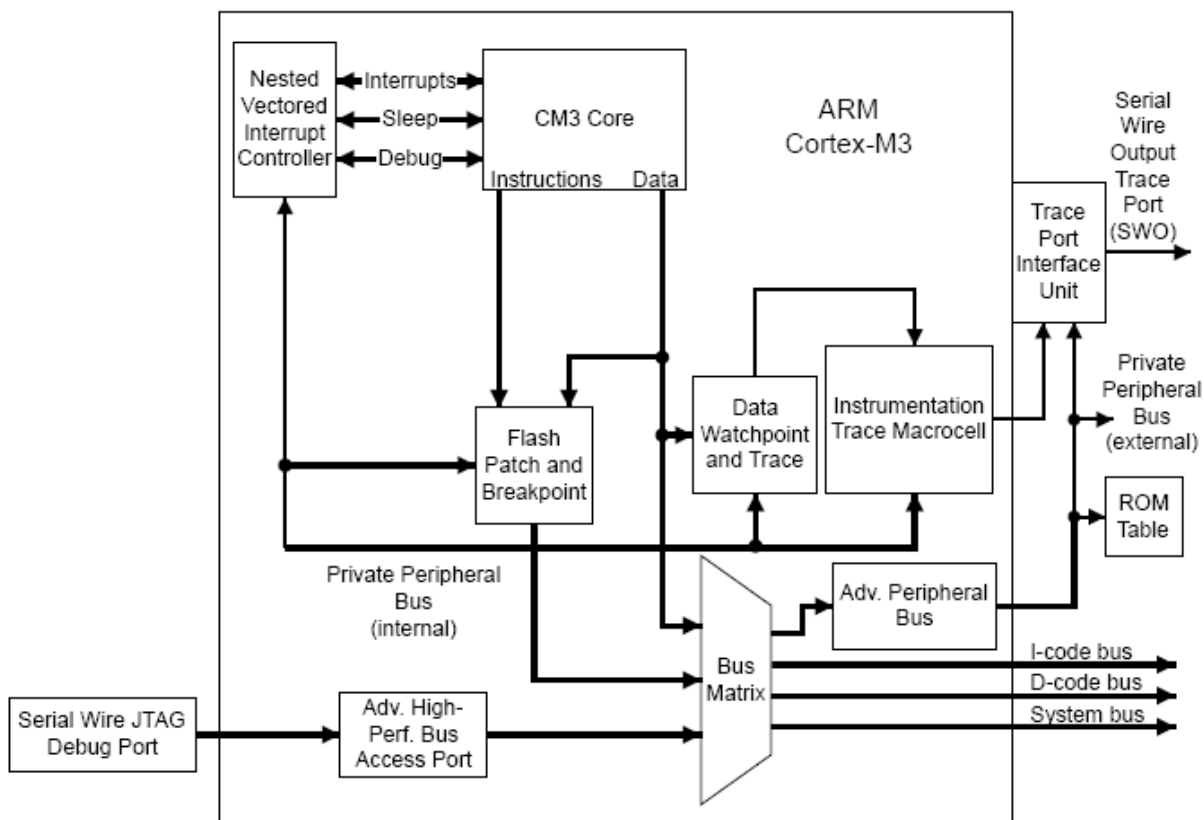
A megoldás ilyenkor az, hogy a FLASH-ben kijelölünk egy területet a konstans, csak olvasható (read only – .rodata) adatoknak, és amikor szükség van rájuk, akkor valamiképpen – a busz mátrixon keresztül – a FLASH-ből érjük el azokat.

Ugyan nem gyakori, de előfordulhat, hogy a programkódunk nem a FLASH-ben található, hanem a RAM-ban. Ez akkor célszerű, ha a végrehajtandó utasításokat dinamikusan kapjuk, például Etherneten keresztül. Ha ilyenkor nem akarjuk a kódot a FLASH-be égetni, tölthetjük egy szabad RAM-területre is. De – megint a busz-mátrix segítségével – gondoskodunk kell arról, hogy a RAM-ban levő kódot egyszerűen, lineáris címezéssel elérhessük.

A jó hír az, hogy a busz-mátrix mindezt (mármint az automatikus útvonal-kiválasztást) teljesen automatikusan elvégzi, így végül is nekünk nincsen tudomásunk arról, hogy egy szó (legyen az utasítás vagy adat) végül is melyik buszon jelenik meg.

Itt kell megemlíteni, hogy a perifériák is külön buszon csatlakoznak a rendszerhez (ábrán: APB), ennek kezelése is a busz-mátrix feladata.

Figure 2-1. CPU Block Diagram



Ezek után talán érthető, hogy a Harvard architektúra miért nem jelent hátrányt a mikrovezérlő kialakításakor. Sőt, tulajdonképpen profitálunk is a különválasztott buszokból: amíg egy utasítás eredményét menti a processzor (az adatbuszon (D-code bus) keresztül), addig a következő utasítás kódja már érkezik az utasításbuszon (I-code bus) át.

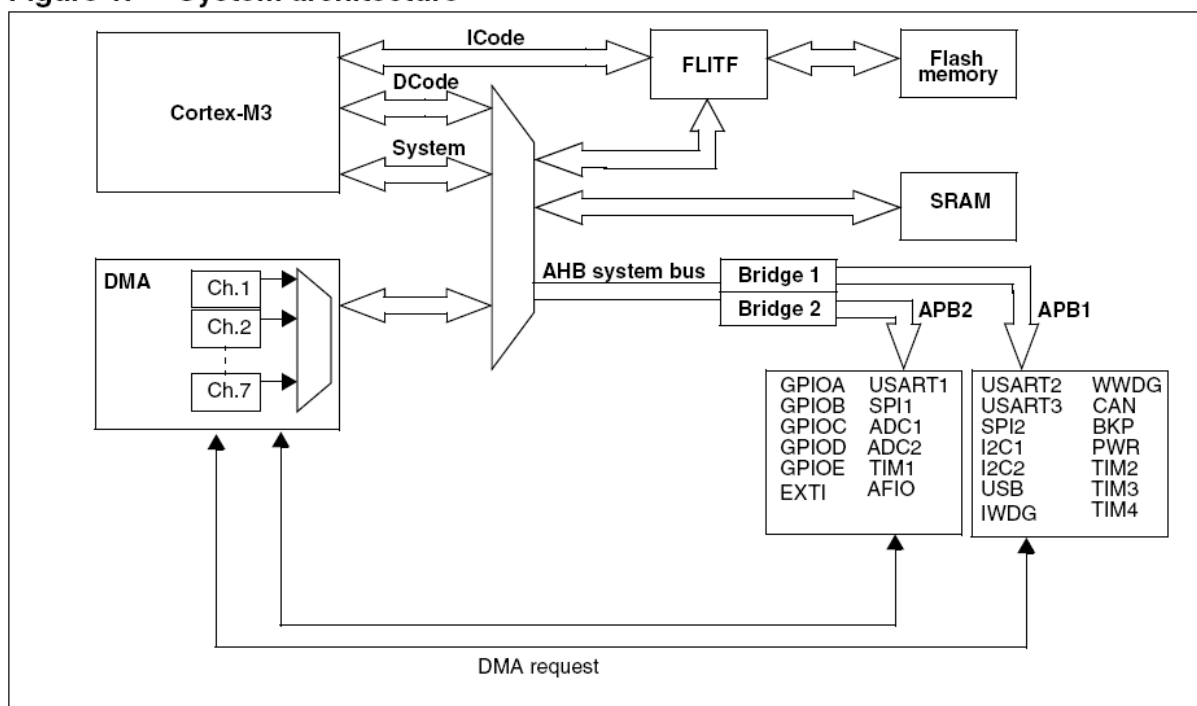
A lineáris címtartomány előnye akkor mutatkozik meg, mikor C nyelven programozunk. Az assembly utasításokat és a regiszterek közvetlen használatát megpróbálom minden erőmmel kerülni a diplomamunkám elkészítése során. Megtehetem azt, mert a C nyelv szinte minden hardverspecifikus dolgot elrejt előlem. Nincsen ez másként a memóriacímekkel kapcsolatban sem. C nyelvben a memóriacímeket pontereknek, mutatóknak nevezik. Mivel a memóriacímek kivétel nélkül 32 bites számok, és a busz-mátrix teszi a dolgát anélkül, hogy nekem külön kellene foglalkoznom vele, ezért nem érdekes túlságosan az sem, hogy egy pointer hova is mutat, konkrétan: a 4 Gbájtos memóriatartomány melyik részét címzi.

Fontos része a Cortex-M3 magnak az NVIC, vagyis Nested Vectored Interrupt Controller. Ez egy nagyon fejlett megszakításkezelő, lehetővé teszi a megszakítások prioritásának beállítását. Ez azért hasznos, mert a magasabb prioritású megszakítások megszakíthatják az alacsonyabb prioritású társaikat.

Az ábrán nem látszik, de a Cortex-M3 magnak része egy olyan számláló-időzítő, ami megszakításokat képes generálni, ezzel lehetővé teszi, hogy az operációs rendszer elragadja a vezérlést az aktuálisan futó alkalmazástól, és egy másik alkalmazásnak adja, így biztosítani tudja a feladatok látszólagos egymás melletti (egyidejű) futását. Ezt a képességet az idegenek multitaskingnak (több-feladatos működésnek) nevezik.

A processzor magjának áttekintése után vessünk egy pillantást a gyártók által hozzáadott perifériákra. Először álljon itt az általam nagyra tartott ST cég termékének blokkvázlata:

**Figure 1. System architecture**



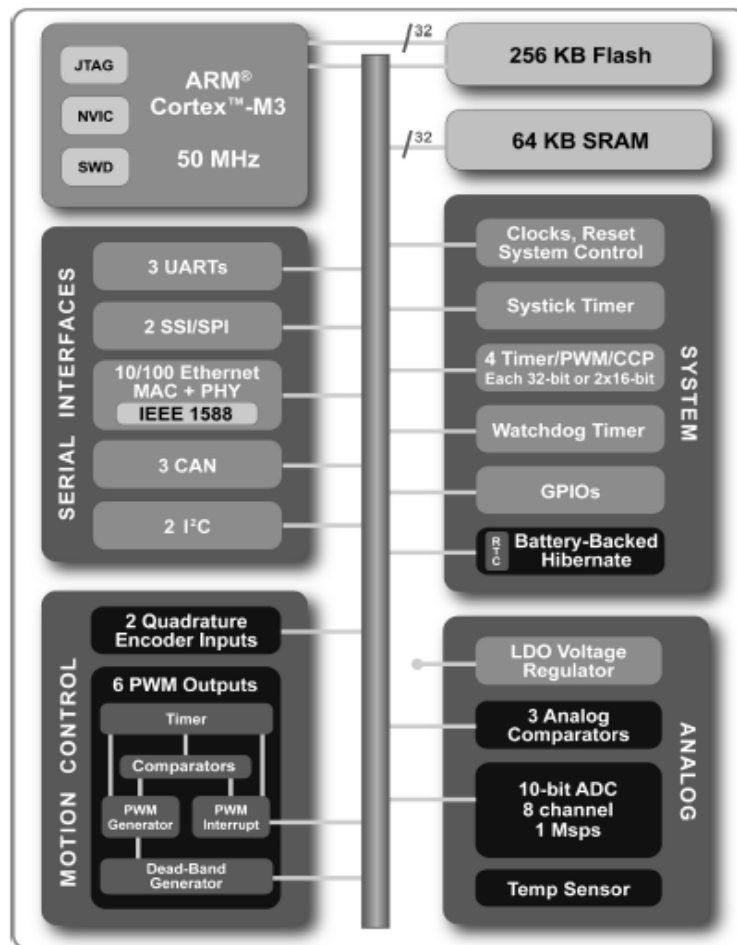
Érdekessége a lapkának a kialakított DMA, vagyis a direkt memória hozzáférést biztosító egység. Ez tehermentesíti a processzort azáltal, hogy az adatokat nagyobb blokkokban automatikusan másolja a memória és a perifériák között.

Látható az ábrán, hogy perifériában nincsen hiány: számtalan GPIO<sup>17</sup>, USART, (12 bites) ADC, CAN, számlálók, stb. segíti a munkánkat.

Rendkívül gazdag perifériákban a Luminary cég mikrovezérlő-családja is. Egy példát kiragadtam, és az látható a következő ábrán:

17 General Purpose Input / Output: általános célú bemenet/kimenet

Figure 1-1. Stellaris® 8000 Series High-Level Block Diagram



Ennek a csipnek az az érdekessége, hogy tartalmaz egy 10/100 Mbit/s sebességű ethernet interfészt: mind MAC<sup>18</sup>-et, mind PHY<sup>19</sup>-t, „kívülről” csak az illesztőtranszformátort kell az áramkörre csatlakoztatni.

### 2.3. Szoftverfejlesztés ARM processzorra

Az előző részekben az ARM processzorok történetével és általános felépítésével foglalkoztam. Ebben az alfejezetben azt fogom leírni, hogy a kiválasztott ARM Cortex-M3 magot tartalmazó mikrovezérlőkre hogyan lehet szoftvert fejleszteni. Ugyan volt már szó a gyártóspecifikus perifériakészletről, mégis arra koncentrálok, hogy csak a Cortex-M3 lehetőségeit használjam.

18 Medium Access Control – közvetítőhozzáférés-vezérlési réteg, I. még: OSI modell 2. rétege

19 Physical Layer – fizikai réteg, I. még: OSI modell 1. rétege



### 2.3.1. C/C++ fordító fordítása ARM architektúrára

A mai mikrovezérlőket már nem érdemes assembly nyelven programozni, mert annyi utasítást és címezési módot kellene ismerni, hogy a befektetett energia nem lenne arányos a várható eredménnyel. Ha mégis szükség lenne egy-egy speciális assembly utasításra, azt beszúrom a C forráskódba.

Másik nyomós érv a – most már nyilvánvalónak tűnő – C/C++ nyelv mellett, hogy a csipgyártó programozói is C nyelven teszik közzé a nem-ARM perifériákat kezelő függvénykönyvtárat (továbbiakban: firmware library).

Megfontolás tárgyává téve a dolgot úgy döntöttem, hogy a GNU GCC<sup>20</sup> fordítót fogom használni. Az ARM Cortex-M3 csak a Thumb2 utasításkészletet képes végrehajtani, ezért olyan verziójú fordítót kell beszerezni, ami támogatja azt. A GCC esetében ez a 4.3.0, ami a <http://gcc.gnu.org/> címről ingyenesen letölthető. A GCC a binutils-t<sup>21</sup> is használja, ezért ezt is le kell töltenia <http://www.gnu.org/software/binutils/> címről. A harmadik dolog, ami sokat segíthet a GDB, a GNU debugger (letölthető innen: <http://sourceware.org/gdb/>). Ez a program lehetővé teszi, hogy úgy kövessük nyomon a mikrovezérlő működését, hogy közben látjuk a forráskódot.

A C fordító fordítása így történik:

- Először konfiguráljuk a binutils-t úgy, hogy képes legyen ARM-ra fordítani.
- Majd lefordítjuk azt, és installáljuk is.
- Aztán konfiguráljuk a GCC-t is, úgy, hogy ez is ARM-ra fordítson.
- Lefordítjuk ezt is. Ez persze nem lesz zökkenőmentes, mert nem létezik olyan verziójú GCC, ami minden gond nélkül lefordítható.
- Végül konfiguráljuk a GDB-t is, csakúgy, mint a GCC-t.
- Ennek sem a fordítása, sem az installálása nem szokott gondot okozni.

Most pedig álljanak itt a konkrét parancssorok (Linux alatt működnek):

```
tar xzvf binutils-2.18.tar.gz
cd binutils-2.18/
./configure --target=arm-none-linux-gnueabi
make
sudo make install
```

A GCC fordítása kissé bonyolultabb. Érdemes megemlíteni, hogy a libstdc++-v3 sem fordítható le, mert egy-két programozási hiba van benne. Ugyanez igaz majdnem minden

20 GNU Compiler Collection – GNU fordítógyűjtemény

21 Tartalmazza az assemblert, linkert, formátom konvertert, stb.

függvénykönyvtárra, amit a GCC forrásával adnak. Ezen részek fordítását mindenképpen érdemes letiltani.

Egy másik érdekes kérdés lehet a libc (C függvénykönyvtár) léte vagy nem-léte. Azt gondolom, hogy elég kevés olyan szabványos C függvény van, ami tényleg hasznos egy mikrovezérlő programozásához, ezért libc-t sem fordítok a GCC-vel.

Nyelvek tekintetében kissé érdekes a helyzet. A C nyelv mindenképpen szükséges. De a C++-ról már lehet vitatkozni: vajon van-e olyan alkalmazás, amihez célszerű az objektumorientált szemlélet. Neken az a véleményem, hogy a C++ számos olyan szolgáltatást tartalmaz, ami megkönnyíti a munkámat: függvények alapértelmezett paramétere, operátor és függvénytúlterhelés, kivételkezelés (try-catch), stb. Ezért a C++ támogatást is fordítok a GCC-hez.

```
tar xjvf gcc-core-4.3.1.tar.bz2
tar xjvf gcc-g++-4.3.1.tar.bz2
cd gcc-4.3.1/
./configure --target=arm-none-linux-gnueabi --enable-languages=c,c++ \
    --disable-libstdcxx --disable-libgomp --disable-libmudflap \
    --disable-libssp
make
sudo make install
```

Ha a newlib nevű C függvénykönyvtárt is szeretnénk a GCC-vel együtt lefordítani, akkor másoljuk a newlib forrását a gcc-4.3.1 könyvtárába, és konfigurálásnál a következő parancsot használjuk:

```
./configure --target=arm-none-linux-gnueabi --enable-languages=c,c++ \
    --disable-libstdcxx --disable-libgomp --disable-libmudflap \
    --disable-libssp --with-newlib
```

A fordítás során fellépő hibák javítását itt nem tudom megadni, a korrigálás meghaladja ezen mű kereteit (másképpen valószínűleg úgyis verziófüggők a hibák). A legfontosabb hibaforrások:

- libgcc: BITS\_PER\_UNIT = 8
- libgcc: header fájlok nem találhatóak
- libgcc: lebegőpontos számításokhoz szükséges függvények nem kerülnek lefordításra. Ezen úgy lehet segíteni, ha a libgcc2.h-ban megadjuk, hogy kell lebegőpontos támogatás a libgcc-be.

- `crt`: nem keletkezik CRT<sup>22</sup> (C Runtime), ami egyébként nem baj, csak megszakad a fordítás

Ha mindezen túljutottunk, már csak a GDB-t kell lefordítani. Ez már kifejezetten egyszerű folyamat a GCC fordításához képest:

```
tar xjvf gdb-6.8.tar.bz2
cd gdb-6.8
./configure --target=arm-none-linux-gnueabi
make
sudo make install
```

Ezzel el is készült a C/C++ fordító. Ez már majdnem elég ahhoz, hogy programot tudjunk írni ARM Cortex-M3-ra.

### 2.3.2. C/C++ program írása ARM architektúrára

Az előző részben az olvasható, hogy hogyan kell/kellene a GCC-t és a GDB-t lefordítani, hogy aztán segítségükkel ARM processzort programozhassunk.

A régi időkben a programok forráskódját (legyen az assembly, C vagy C++ nyelvű) egy szövegszerkesztő (text editor) segítségével állították elő (innen ered az elnevezés: az assemblyből fordított végrehajtható (azaz bináris) kódot *szövegnek* (.text) nevezték, hiszen az assembly és a gépi kód majdnem kölcsönösen egyértelműen megfeleltethető). Ezzel a jól bevált hagyománnyal én sem fogok szakítani.

Ahhoz, hogy a munkát el tudjuk kezdeni, néhány dolgot tisztáznunk kell:

Az ARM régebben csak a processzor *szilícium rajzolatát* (layout) és a *felhasználás jogát* (licenz) adta el, de nem foglalkozik a kiegészítő perifériákkal, memóriákkal. Nem adott útmutatást arra vonatkozóan sem, hogy a kiegészítő eszközöket hogyan célszerű a processzorhoz illeszteni.

Az ARM Cortex típusú processzorok esetében a cég szakított ezzel a hagyománnyal, és pontosan specifikált jó néhány paramétert: meghatározta a memóriatérképet, a memóriák (FLASH és statikus RAM) helyét, a kötelező perifériák (megszakításvezérlő, systick<sup>23</sup> számláló) regisztereinek címét, az MPU és rendszerregiszterek felépítését, stb.

Adott típusú memóriákban nem csak egyféle információt lehet tárolni: például a FLASH memóriába tölthetünk futtatható kódot vagy konstans adatot, de a RAM-ban lehet

22 Olyan függvények, melyek előkészítik a `main()` függvény számára a környezetet (pl. 0-val töltik fel a globális változók memóriaterületét), illetve a `main()` után futnak le (pl. nyitott fájlok lezárása).

23 Olyan számláló / időzítő, amely segít az operációs rendszerek kialakításában, időalapot szolgáltat az ütemező számára.

inicializált adat (globális vagy statikusnak deklarált lokális változók) vagy veremterület (visszatérési cím, függvényparaméterek, lokális változók) is.

Ezeket a memóriaterületeket szekcióknak nevezzük. A linker, ami összefűzi a firmware (beágyazott rendszer szoftver) komponenseit, nagyban épít a szekció információkra. Tipikusan a következő szekciókat használjuk:

- `.text`: a bináris program (a szöveg)
- `.rodata`: csak olvasható (konstans) adatok
- `.data`: inicializált adatok (globális vagy statikusra deklarált változók)
- `.bss`: inicializálatlan adatok (függvények visszatérési címe,

A felsoroltakon kívül még számos szekció lehetséges (globális objektumok konstruktorait, destruktorait kezelő szekció, C programot inicializáló, stb.). Sőt, a későbbiekben szükség is lesz saját szekciók definiálására. Ennek már csak azért is célszerű, mert a C kódban nem lehet megadni egy „objektum” (függvény, változó) címét, míg a szekciók által ez könnyen elérhető.

Ez az a pont, ahol fel kell sorolni az ARM cél által meghatározott memóriaterületek funkcióját, és definiálni kell a szükséges szekciókat (el kell készíteni a linker szkriptet, ami alapján a linker elvégzi a C/C++ program „megfelelő helyre igazítását”):

Név	Címtartomány	Mérete	Eszköz típusa
Code (FLASH)	0x00000000-0x1FFFFFFF	500 MB	Normál (memória)
SRAM	0x20000000-0x3FFFFFFF	500 MB	Normál (memória)
Perifériák	0x40000000-0x5FFFFFFF	500 MB	Gyártóspecifikus
Külső RAM	0x60000000-0x9FFFFFFF	1 GB	Normál (memória)
Külső eszközök	0xA0000000-0xDFFFFFFF	1 GB	Külső eszközök
Perifériák	0xE0000000-0xFFFFFFFF	512 MB	Rendszerezszközök

Ezek közül a legfontosabbak a memóriaterületek, mert a perifériák esetében úgyis pontterek segítségével végezzük az elérést. A memóriák közül is inkább a FLASH érdemel több figyelmet, ugyanis az itt található az az adatok, melyek segítségével inicializálja magát a mikrovezérlő (ez nem gyártóspecifikus, az ARM deklarálta).

A memória legelején egy pointer (32 bites memóriacím található), ami a verem elejére mutat. Fontos tudni, hogy a mai ARM-ok hátulról növekedő vermet használnak, és a veremmutató az utolsó, de valós adatra mutat (nem pedig az első, üres elemre).

A FLASH további 32 bites értékei a megszakítások belépési pontjaira (függvénypontterek – szintén memóriacímek, csak másfélék) mutatnak. Ezt a táblázatot a megszakításvezérlő használja, de a program futása során át lehet helyezni a RAM-ba, de én még sosem tettem ilyet.

Eddig elhallgattam, de tovább nem tehetem: létezik inicializált adatterület, de honnan lesz az inicializálva? A megoldás kézenfekvő: a FLASH-ból, hiszen az „nem felejtí el” a tartalmát.

Egy lehetséges linker szkript, ami lefedi a veremcímet, a megszakítási vektortáblát, a programkódot, az inicializált adatokat, az inicializálatlan adatokat és a vermet, így néz ki:

```
/* -----
 * Linker script file for ARM Cortex-M3 microcontrollers
 * ----- */

MEMORY
{
    FLASH (rx) : ORIGIN = 0x00000000, LENGTH = 0x20000
    SRAM (rwx) : ORIGIN = 0x20000000, LENGTH = 0x2000
}

/* Section Definitions */
SECTIONS
{
    /* Code and constant data */
    .text :
    {
        _pointers = .;

        /* Initial value of the stack pointer after RESET */
        *(.stack_pointer)

        /* Pointers to Interrupt (including RESET) service routines */
        *(.vectors)

        /* Code sections */
        _text = .;
        *(.text .text.*)
        /* Read-only data */
        *(.rodata .rodata*)
        _etext = .;
    } > FLASH

    /* Initialized data (read-write) */
    .data : AT (_etext)
    {
        _data = .;
        *(.data .data.*)
        _edata = .;
    } > SRAM

    /* Uninitialized data (heap memory + stack) */
    .bss (NOLOAD) :
    {
        _bss = .;
        *(.bss .bss.*)
        _ebss = .;
    } > SRAM

    . = ALIGN(4);
    _end = .;

    /* Stack will be at the end of the RAM area */
}
```

Ezek után következzen egy fordítható-futtatható programkód bemutatása. Az előbb definiált szekciókat „fel kell tölteni” értelmes adatokkal és kódokkal, ebben pedig a C fordító lesz segítségünkre.

```
/* -----
 * This file contains the startup code for the ARM-Cortex microcontroller.
 * ----- */

#include <config.h>
#include <sysinit.h>

/* -----
 * The first word of the FLASH should be the initial stack pointer of the
 * microcontroller.
 * This parameter will be in the ".stack_pointer" section.
 * See also: linker script
 * ----- */

__attribute__((section(".stack_pointer")))
void *stack_pointer = (void *) (MAIN_STACK);

/* -----
 * The next words should be pointers to ISRs (Interrupt Service Routines).
 * These parameters will be placed into the ".vectors" section.
 * See also: linker script
 * ----- */

__attribute__((section(".vectors")))
void (*vectors[])() = { sysinit, 0, 0, 0, 0,
                       0, 0, 0, 0, 0,
                       0, 0, 0, 0, 0
};

/* -----
 * The function will be started after RESET.
 * ----- */

void sysinit() {
    unsigned char *ptr;

    /* Initialize ".data" section with binary 0s */
    for (ptr = (unsigned char *)RAM_BASE; ptr < (unsigned char *) (MAIN_STACK); ptr++)
        *ptr = 0;

    /* Main loop increments a counter */

    for (;;)
        asm("nop");
}
```

A `config.h` fájl néhány előre definiált konstanst tartalmaz, pl. a RAM kezdetét (0x20000000) és a verem címét (0x20000000 + 8 kb-át).

A `stack_pointer` (veremmutató) egy memóriacím, ami a `.stack_pointer` szekcióba kerül (vagyis a memória legelejére, pontosan úgy, ahogy az ARM specifikációjában le van írva).

Ezt követi a `vectors` tömb, ami a megszakítási vektorok címét tartalmazza. Helye a `.vectors` szekcióban van, ami sorrendben a veremmutatót követi (ez a linker szkriptből is kiderül: közvetlenül a veremmutató után szerepel).

Ezután következik az összes programkód. Ezek automatikusan a `.text` szekcióba kerülnek, míg az adatok a `.data` szekcióba.

RESET hatására elindul a 0. megszakítási vektor, vagyis a `sysinit` függvény. Nem csinál ez mást, mint inicializálja (jelen esetben nullákkal tölti fel) a RAM-ot, majd belefut egy

végtelen ciklusba. Hogy ez valóban így van-e, le kell fordítani a forráskódot. Mivel ezt többször is el fogom végezni, ezért Makefile<sup>24</sup>-t használok:

```
# -----
# This is the Makefile for ST's STM32 (ARM-Cortex based) Microcontollers
#
# Change CROSS parameter if you want to use a different C/C++ compiler or
# the path to the C/C++ compiler is different.
# -----

CROSS      = arm-none-linux-gnueabi-
CC          = $(CROSS)gcc
CXX         = $(CROSS)g++
AS          = $(CC)
OPT         = 1
CFLAGS     = -mthumb -mcpu=cortex-m3 -Wall -O$(OPT) -g -I. -I.. -D__STM32__
CXXFLAGS   = $(CFLAGS)
LD          = $(CROSS)ld
LDFLAGS     = -T cortex_m3.ld

OBJDUMP     = $(CROSS)objdump
ODFLAGS     = -h -j .stack_pointer -j .vectors -j .text -j .data -j .bss -dS
OBJCOPY     = $(CROSS)objcopy
OCFLAGS     = -O binary -j .stack_pointer -j .vectors -j .text -j .data -j .bss
NM          = $(CROSS)nm

PROG        = firmware_cortex_m3

# -----
# Core modules of the formware application
# -----

OBJS        = sysinit.o

# -----
# Compile the firmware
# -----

all: clean $(OBJS)
      $(LD) $(LDFLAGS) -o $(PROG) $(OBJS) $(EXT_LIBS)
      $(OBJDUMP) $(ODFLAGS) $(PROG) > $(PROG).list
      $(OBJCOPY) $(OCFLAGS) $(PROG) $(PROG).bin
      $(NM) $(PROG) | sort > $(PROG).nm

# -----
# Clean unnecessary files
# -----

clean:
      rm -rf $(OBJS) $(PROG) $(PROG).list $(PROG).hex $(PROG).nm $(PROG).bin
```

A fordítás ezek után könnyen elvégezhető: a `make` program teljes mértékben automatizálja a folyamatot. A fordítás eredményeként számos fájl létrejön. Ezek közül a legfontosabb az ELF<sup>25</sup> formátumú futtatható fájl és a program listája (ami tartalmazza a C forráskódot, a címeket és a generált assembly utasításokat is). A lista fájl tartalma a következő:

<sup>24</sup> Fordítást automatizáló program (make) „konfigurációs” fájlja

<sup>25</sup> Executable and Linuakbe Format – futtatható és linkelhető formátum

```

firmware_cortex_m3:      file format elf32-littlearm

Sections:
Idx Name          Size      VMA           LMA           File off  Algn
 0 .text          00000060 00000000 00000000 00008000 2**2
                  CONTENTS, ALLOC, LOAD, READONLY, CODE
 1 .debug_abbrev   0000008d 00000000 00000000 00008060 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 2 .debug_info     0000009e 00000000 00000000 000080ed 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 3 .debug_line     0000003e 00000000 00000000 0000818b 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 4 .debug_frame    00000020 00000000 00000000 000081cc 2**2
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 5 .debug_pubnames 0000003c 00000000 00000000 000081ec 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 6 .debug_aranges  00000020 00000000 00000000 00008228 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 7 .debug_str       0000007f 00000000 00000000 00008248 2**0
                  CONTENTS, READONLY, DEBUGGING
 8 .comment         0000002b 00000000 00000000 000082c7 2**0
                  CONTENTS, READONLY
 9 .ARM.attributes 00000031 00000000 00000000 000082f2 2**0
                  CONTENTS, READONLY

Disassembly of section .text:

00000000 <_pointers>:
   0:  20002000      .word   0x20002000

00000004 <vectors>:
   4:  00000041 00000000 00000000 00000000      A.....
   ...

00000040 <sysinit>:

/* -----
 * The function will be started after RESET.
 * ----- */

void sysinit() {
   40:  f04f 5200      mov.w   r2, #536870912 ; 0x20000000
      unsigned char *ptr;

      /* Initialize ".data" section with binary 0s */
      for (ptr = (unsigned char *)RAM_BASE; ptr < (unsigned char *) (MAIN_STACK); ptr++)
44:  f242 0300      movw    r3, #8192      ; 0x2000
48:  4619          mov     r1, r3
4a:  f2c2 0100      movt    r1, #8192      ; 0x2000
      *ptr = 0;
4e:  f04f 0300      mov.w   r3, #0 ; 0x0
52:  f802 3b01      strb.w  r3, [r2], #1
56:  428a          cmp     r2, r1
58:  d1f9          bne.n   4e <sysinit+0xe>

      /* Main loop increments a counter */

      for (;;)
        asm("nop");
5a:  bf00          nop
5c:  e7fd          b.n     5a <sysinit+0x1a>
5e:  46c0          nop             (mov r8, r8)

```

Látható, hogy 0-s címen a RAM végének címe van, ez a verem teteje, a következő (4-es) címen pedig a `sysinit` első utasításának címe található (azért 0x41, mert a legalsó bit jelzi, hogy Thumb2 „üzemmódba” kell váltani – az ARM Cortex-M3 csak azt ismeri.)



Ezek után már csak azzal kell megismerkedni, hogy miként lehet az elkészült kódot a mikrovezérlő memóriájába tölteni, futtatni és hibamentesíteni. Ez lesz a következő rész témája.

### 2.3.3. Kód letöltése, hibamentesítés

ARM alapú mikrovezérlők programozására az OpenOCD-t használható. Ez a nyílt forráskódú program szabadon letölthető a <http://openocd.berlios.de/web/> oldalról. Mivel ez nem annyira egyértelmű, ezért inkább a következő módszert javaslom (előtte a `subversion` programot/csomagot telepíteni kell):

```
svn checkout svn://svn.berlios.de/openocd/trunk
```

A letöltött forráskód birtokában kezdődhet a fordítás. Ha a számítógép, amelyen a programozás történik, rendelkezik beépített (nem USB-s) párhuzamos porttal, ajánlatos a fordítást `--enable-parport` opcióval végezni.

```
cd trunk/  
./bootstrap  
./configure --enable-parport  
make  
sudo make install
```

Miközben az előző részeket írtam, vásároltam egy Olimex ARM-USB-JTAG típusú JTAG programozót. Nem azért tettem azt, mert az párhuzamos (printer) portos programozó nem használható, hanem azért, mert a párhuzamos port folyamatosan „kopik ki” a számítógépekből.

Ha a programozó eszköz FT2232-vel van felépítve (pl. Olimex ARM-USB-JTAG), akkor a `libusb` és a `libftdi` függvénykönyvtárak (vagy inkább az FTDI saját meghajtójának) telepítése után így végezzük a fordítást:

```
cd trunk/  
./bootstrap  
./configure --enable-ft2232_ftd2xx  
make  
sudo make install
```

Az OpenOCD futtatásához szükséges egy konfigurációs fájlt létrehozni `openocd.cfg` néven. A név nem kötelező, de ez az alapértelmezett, az OpenOCD ezen a néven keresi.

A konfigurációs fájl a következőket írja le:

- Az OpenOCD a 4444-es telnet porton (TCP) érhető el.
- Ha GDB-t használunk, a 3333-es portra kell csatlakozni azzal.
- Ha **párhuzamos portos** programozót használunk, ami a 0x378-as portcímen található, az `interface parport` és a `parport_port 0x378` használata szükséges.
- Az **FT2232 alapú** eszközök alkalmazása esetén az `interface ft2232` beállítást használjuk. Ebben az esetben meg kell adni a programozó típusát: `ft2232_layout "olimex-jtag"` és az eszköz azonosítóit: `ft2232_vid_pid 0x15ba 0x0003`
- A kábel típusa a párhuzamos portos esetben Wiggler.  
([http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Customizing/Hardware/JTAG\\_Cable](http://wiki.openwrt.org/OpenWrtDocs/Customizing/Hardware/JTAG_Cable))
- A JTAG beállításai (ez egy viszonylag lassú kapcsolatot biztosít, de ha a mikrovezérlő órajel-generátora (kvarc) már elindult, a JTAG sebessége növelhető és növelendő 500-1000 kHz-re).
- A csip egy ARM Cortex-M3 típusú, little-endian eszköz.
- A FLASH memória típusa, kezdőcíme, mérete.
- A `working area` (munkaterület) a programozás során pufferként szolgál.

```
#daemon configuration
telnet_port 4444
gdb_port 3333
tcl_port 6666

#interface
interface parport
parport_port 0x378
parport_cable wiggler

jtag_khz 1
jtag_nsrst_delay 100
jtag_ntrst_delay 100

#use combined on interfaces or targets that can't set TRST/SRST separately
reset_config trst_and_srst

#jtag scan chain
#format L IRC IRCM IDCODE (Length, IR Capture, IR Capture Mask, IDCODE)
jtag_device 4 0x1 0xf 0xe
jtag_device 5 0x1 0x1 0x1e

#target configuration
#target <type> <startup mode>
target cortex_m3 little 0

#flash configuration
working_area 0 0x20000000 0x4000 nobackup
flash bank stm32x 0x08000000 0x00008000 0 0 0
```

Az FT2232-re épülő programozó konfigurációs fájlja (részlet):

```

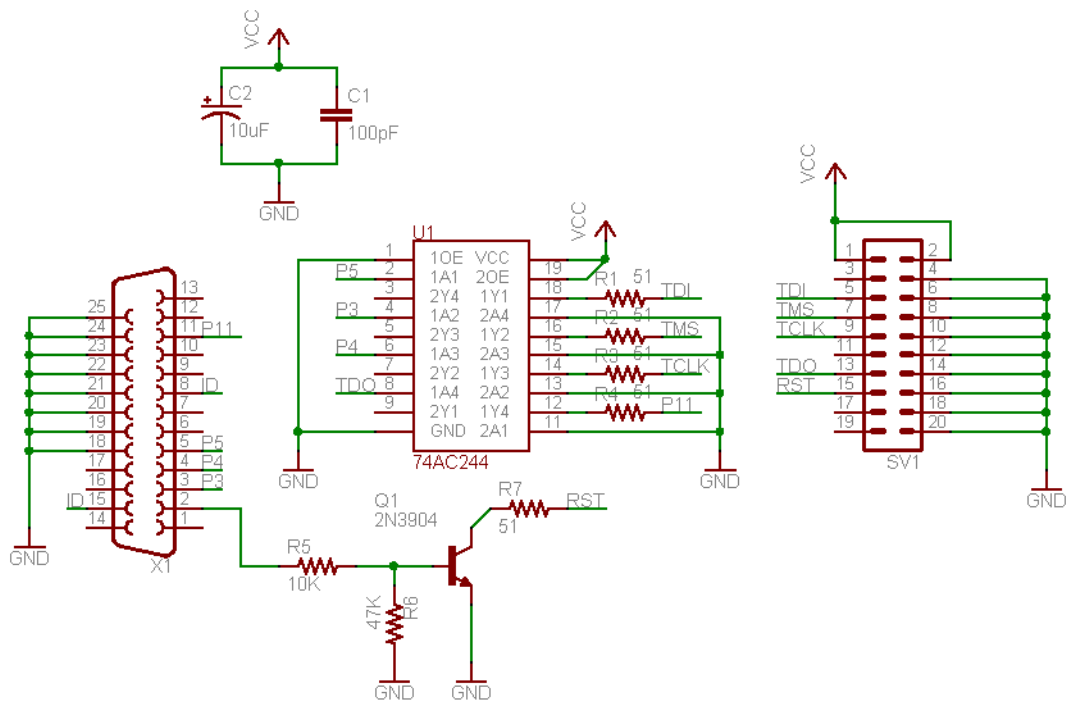
...
ttl_port 6666

interface ft2232
ft2232_device_desc "Olimex OpenOCD JTAG A"
ft2232_layout "olimex-jtag"
ft2232_vid_pid 0x15ba 0x0003

jtag_khz 1
...

```

A programozás megkezdése előtt mindenképpen el kell készíteni vagy meg kell vásárolni a JTAG programozó hardvert. Egy rendkívül egyszerű áramkör felépítését mutatja a következő kapcsolási rajz:



Tovább szoktam egyszerűsíteni az áramkört azzal, hogy kihagyom belőle a 74HC244-et, a tranzisztort és az ellenállásokat. Gyakorlatilag egy kábel marad, amit egy-egy csatlakozó zár le mindkét végén. **Érdemes a TRST-t is bekötni a printer port 6-os lábára.**

A pontos bekötés érdekében érdemes áttanulmányozni a `trunk/src/jtag/parport.c` fájlt, annak is a következő két sorát. Mivel az én számítógépem `nBUSY` lába valamiért nem működik, ezért az `nBUSY` (7. bit, 11-es láb) **bemenetet a SELECT-re** (4. bit, 13-as láb) **cseréltem**, pontosabban a kettőt összekötöttem.

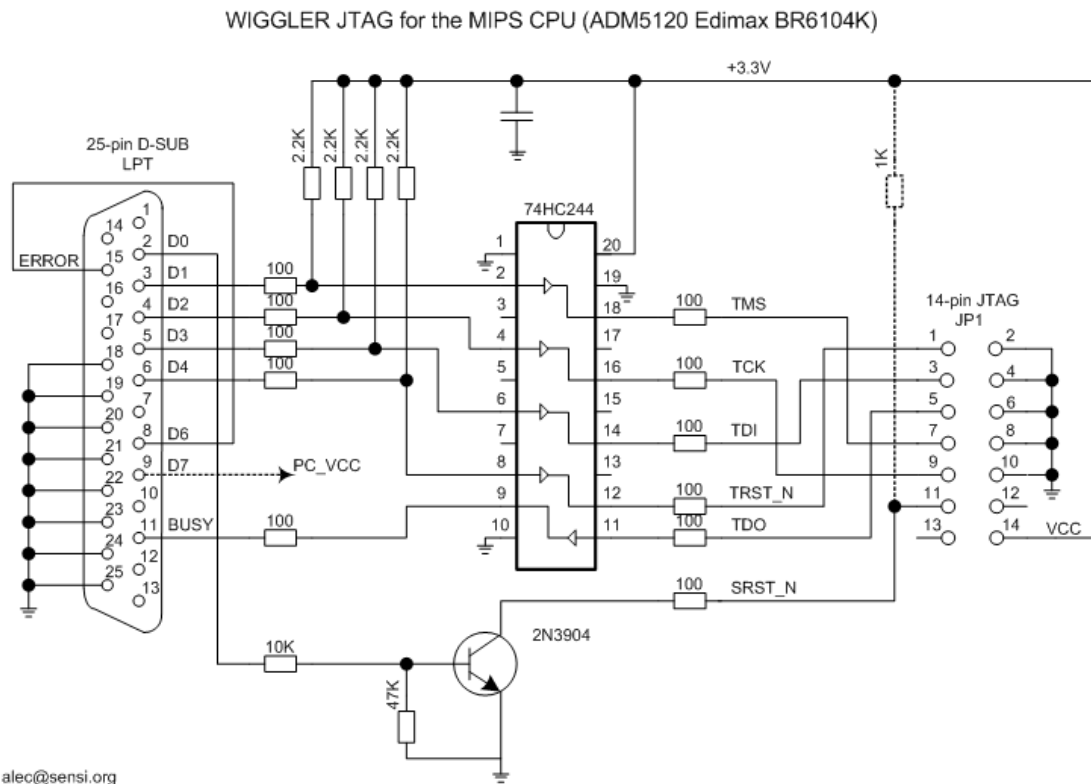
```
/* name      tdo  trst  tms  tck  tdi  srst  o_inv i_inv init  exit  led */
{ "wiggler", 0x80, 0x10, 0x02, 0x04, 0x08, 0x01, 0x01, 0x80, 0x80, 0x00 },
/*          nBUSY D4   D1   D2   D3   D0   o_inv → 0x00, ha nincs tranzisztor */
```

Én ezt így módosítottam:

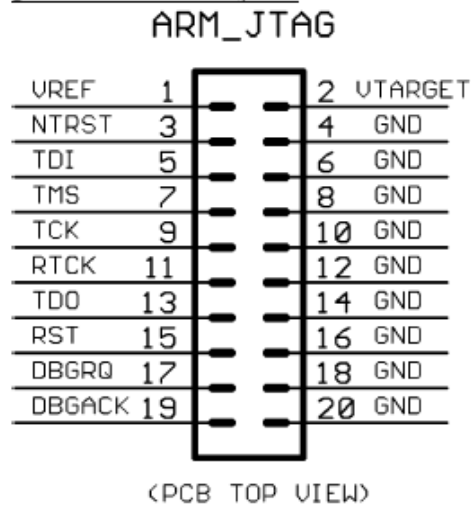
```
/* name      tdo  trst  tms  tck  tdi  srst  o_inv i_inv init  exit  led */
{ "wiggler", 0x10, 0x10, 0x02, 0x04, 0x08, 0x01, 0x00, 0x00, 0x91, 0x91, 0x00 },
/*          SELECT D4   D1   D2   D3   D0   o_inv → 0x00, ha nincs tranzisztor */
```

A sorok értelmezésére már valószínűleg magától is rájött az Olvasó.

A következő ábra az OpenWRT oldalán található JTAG kábel bekötését mutatja. Mivel én nem invertálom a RESET jelet (tranzisztorral), ezért az előbb leírtak most is érvényesek.



FT2232-vel felépített eszközökön természetesen nem szükséges módosításokat végezni. Akár párhuzamos portos, akár FT2232-es programozót használunk, valamiképpen csatlakozni kell a mikrovezérlőhöz. Az ARM ezt is szabványosította: megadott egy 20 lábú kiosztást, ahogyan a JTAG programozó csatlakozik a processzorhoz.

**JTAG connector layout:**

Ezek után nincs más hátra, mint az előző ábra alapján bekötni a JTAG programozót a mikrovezérlő megfelelő lábaira. Az OpenOCD így indítható:

```
sudo ./openocd
```

Optimális esetben (néhány óra hibakeresés után) így válaszol az OpenOCD:

```
Info: options.c:50 configuration_output_handler(): Open On-Chip Debugger 1.0
(2008-06-27-14:04) svn:734
Info: options.c:50 configuration_output_handler(): jtag_speed: 1, 1
Info: jtag.c:1389 jtag_examine_chain(): JTAG device found: 0x3ba00477 (Manufacturer:
0x23b, Part: 0xba00, Version: 0x3)
Info: jtag.c:1389 jtag_examine_chain(): JTAG device found: 0x16410041 (Manufacturer:
0x020, Part: 0x6410, Version: 0x1)
```

Az OpenOCD használatához be kell „telnetelni” a démonba:

```
telnet localhost 4444
```

Ennek hatására megjelenik a prompt:

```
Trying 127.0.0.1...
Connected to localhost.
Escape character is '^]'.
Open On-Chip Debugger
```

```
>
```

A flash törlése és írása a következő paranccsal végezhető el:

```
flash write_image erase firmware_cortex_m3 0x8000000
```

A helyes válasz:

```
> flash write_image erase firmware_cortex_m3 0x8000000
auto erase enabled
device id = 0x20006410
flash size = 128kbytes
wrote 96 byte from file firmware_cortex_m3 in 0.593120s (0.158062 kb/s)
>
```

A kód ezek után így futtatható: `reset halt majd resume`:

```
> reset halt
JTAG device found: 0x3ba00477 (Manufacturer: 0x23b, Part: 0xba00, Version: 0x3)
JTAG device found: 0x16410041 (Manufacturer: 0x020, Part: 0x6410, Version: 0x1)
target state: halted
target halted due to debug request, current mode: Thread
xPSR: 0x01000000 pc: 0x00000040
> resume
> poll
target state: running
>
```

A `poll` paranccsal azt ellenőriztem, hogy fut-e a kód. Láthatólag fut.

Ha azt szeretnénk tudni, hogy mi történik futás közben, akkor le kell állítani a kód futását (vagy el sem kell indítani – a RESET ettől függően még így is ajánlatos) a `halt` paranccsal, majd a `step` paranccsal lehet lépegetni utasításról utasításra. A `reg` parancs a mikrovezérlő regisztereit listázza ki.

```
> halt
target state: halted
target halted due to debug request, current mode: Thread
xPSR: 0x61000000 pc: 0x0000005c
> step
target state: halted
target halted due to single step, current mode: Thread
xPSR: 0x61000000 pc: 0x0000005a
> step
target state: halted
target halted due to single step, current mode: Thread
xPSR: 0x61000000 pc: 0x0000005c
> step
target state: halted
target halted due to single step, current mode: Thread
xPSR: 0x61000000 pc: 0x0000005a
```

```

> step
target state: halted
target halted due to single step, current mode: Thread
xPSR: 0x61000000 pc: 0x0000005c
> reg
(0) r0 (/32): 0x20000090 (dirty: 0, valid: 1)
(1) r1 (/32): 0x20002000 (dirty: 0, valid: 1)
(2) r2 (/32): 0x20002000 (dirty: 0, valid: 1)
(3) r3 (/32): 0x00000000 (dirty: 0, valid: 1)
(4) r4 (/32): 0x40022010 (dirty: 0, valid: 1)
(5) r5 (/32): 0x4002200c (dirty: 0, valid: 1)
(6) r6 (/32): 0x25d1534c (dirty: 0, valid: 1)
(7) r7 (/32): 0xb52d6fd4 (dirty: 0, valid: 1)
(8) r8 (/32): 0x9feffffdc (dirty: 0, valid: 1)
(9) r9 (/32): 0xdffdb5fe (dirty: 0, valid: 1)
(10) r10 (/32): 0xa4c3ea69 (dirty: 0, valid: 1)
(11) r11 (/32): 0xc9366b88 (dirty: 0, valid: 1)
(12) r12 (/32): 0xffff7fff (dirty: 0, valid: 1)
(13) sp (/32): 0x20002000 (dirty: 0, valid: 1)
(14) lr (/32): 0xffffffff (dirty: 0, valid: 1)
(15) pc (/32): 0x0000005c (dirty: 0, valid: 1)
(16) xPSR (/32): 0x61000000 (dirty: 0, valid: 1)
(17) msp (/32): 0x20002000 (dirty: 0, valid: 1)
(18) psp (/32): 0x0e42cb58 (dirty: 0, valid: 1)
(19) primask (/32): 0x00000000 (dirty: 0, valid: 1)
(20) basepri (/32): 0x00000000 (dirty: 0, valid: 1)
(21) faultmask (/32): 0x00000000 (dirty: 0, valid: 1)
(22) control (/32): 0x00000000 (dirty: 0, valid: 1)
>

```

Látható, hogy a mikrovezérlő a 0x5a és a 0x5c című utasításokat hajtja végre. Nem meglepő ez: a végtelen ciklust futtat.

```

/* Main loop increments a counter */

for (;;)
    asm("nop");
5a:  bf00          nop
5c:  e7fd          b.n    5a <sysinit+0x1a>

```

Az OpenOCD egyik leghasznosabb tulajdonsága az, hogy töréspontokat helyezhetünk el a kódban. A törésponthoz érve a mikrovezérlő felfüggeszti a kód futtatását, és átadja a vezérlést a Debug (nyomkövető) alrendszernek. Ebben az állapotban – a már megismert módon – ellenőrizhetjük a regiszterek értékét, a memóriatartalmakat, és folytathatjuk a kód futtatását. Töréspont elhelyezésére a `bp` parancs szolgál. Paraméterként meg kell adni azt a címet, ahol a kód futását meg kívánjuk állítani, és be kell állítani a töréspont hosszát (ez utóbbi paraméterről nincsenek részletes információim).

```

> bp 0xf0 0
breakpoint added at address 0x000000f0
> resume
target state: halted
target halted due to breakpoint, current mode: Thread

```

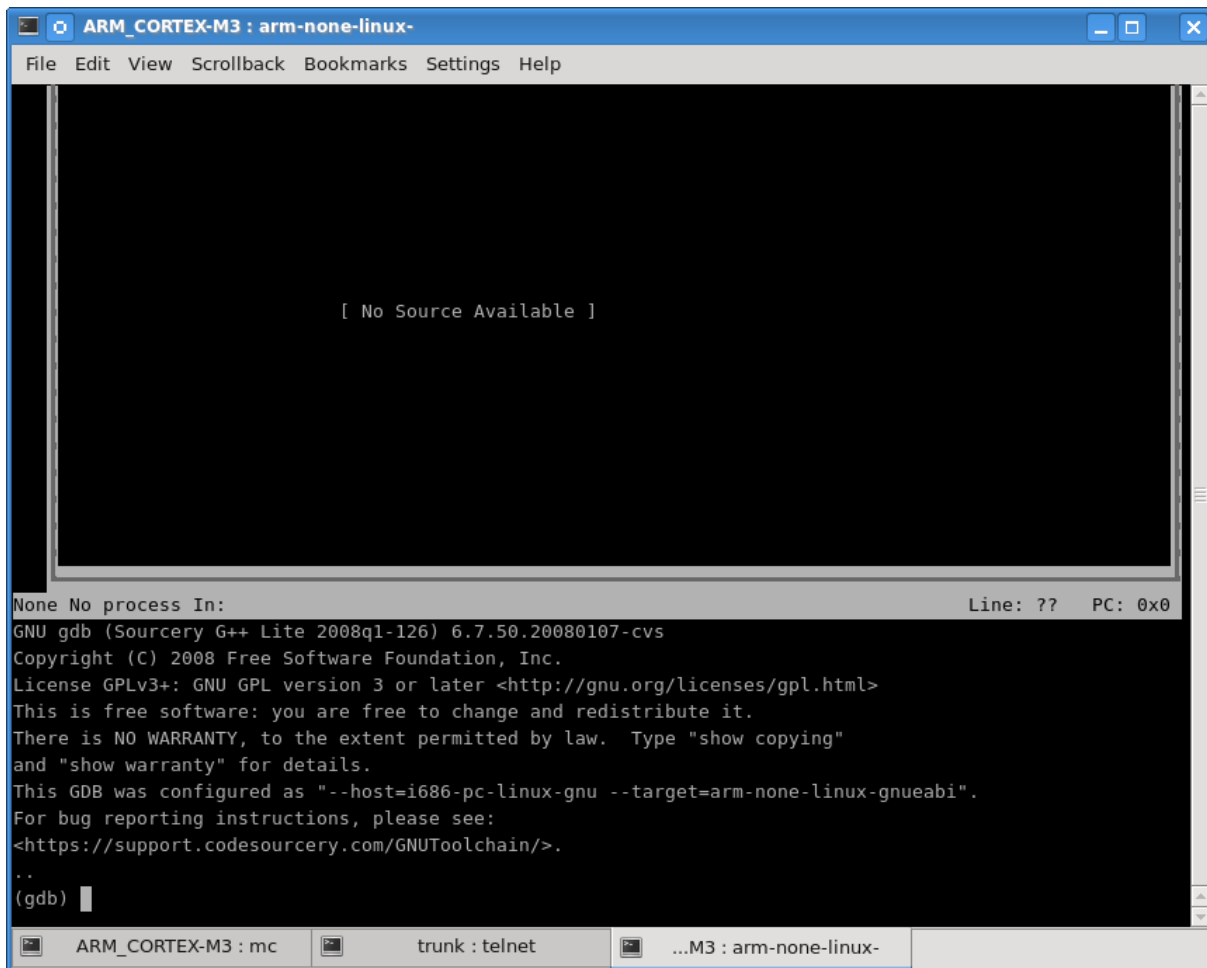
## 2. Az ARM processzorok

```
xPSR: 0x61000000 pc: 0x000000f0
>
```

Ha magasabb (azaz C nyelvű) nyomkövetésre van szükség, ennek sincs akadálya: csak el kell indítani az `arm-none-linux-gnueabi-gdbtui-t`, paraméterként átadva a firmware fájl nevét:

```
arm-none-linux-gnueabi-gdbtui firmware_cortex_m3
```

Ezután ajánlatos RESET-elni a mikrovezérlőt, hogy az alapállapotba kerüljön (különösen a DEBUG áramköre).



A „target remote :3333” paranccsal csatlakoztatom a GDB-t az OpenOCD-hez. Ekkor betöltődik a forráskód a GDB felső ablakába.



The screenshot shows the ARM\_Cortex-M3 IDE interface. The top window displays the `sysinit.c` file with the following code:

```

26         0, 0, 0, 0, 0, 0,
27         0, 0, 0, 0, 0, 0
28     };
29
30     /* -----
31      * The function will be started after RESET.
32      * ----- */
33
34 void sysinit() {
35     unsigned char *ptr;
36
37     /* Initialize ".data" section with binary 0s */
38     for (ptr = (unsigned char *)RAM_BASE; ptr < (unsigned char *) (MAIN_STACK); ptr++)
39         *ptr = 0;
40
41     /* Main loop increments a counter */
42
43     for (;;)

```

The bottom window shows the GDB console output:

```

remote Thread 42000 In: sysinit                               Line: 34   PC: 0x40
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.  Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "--host=i686-pc-linux-gnu --target=arm-none-linux-gnueabi".
For bug reporting instructions, please see:
<https://support.codesourcery.com/GNUToolchain/>.
..
(gdb) target remote :3333
Remote debugging using :3333
sysinit () at sysinit.c:34
(gdb)

```

The bottom status bar shows three tabs: `ARM_Cortex-M3 : mc`, `trunk : telnet`, and `...M3 : arm-none-linux-`.

Töréspontot a `b` (breakpoint – töréspont) paranccsal lehet definiálni. Paraméterként elfogadja a memóriacímet és a függvénynevet is. A futtatást a `c` (continue – folytatás) paranccsal lehet kezdeni / folytatni. A kód futása a töréspontnál megáll. Lépésenként való futtatásra az `n` (next – következő) és az `s` (step – léptetés) parancs használandó. Az előbbi a függvényhívásokat egyben végrehajtja, míg az utóbbi elugrik a hívott függvény törzséhez, és lépésenként hajtja végre azt.

Egy változó értékének megtekintése a `p` (print – nyomtatás) paranccsal lehetséges.

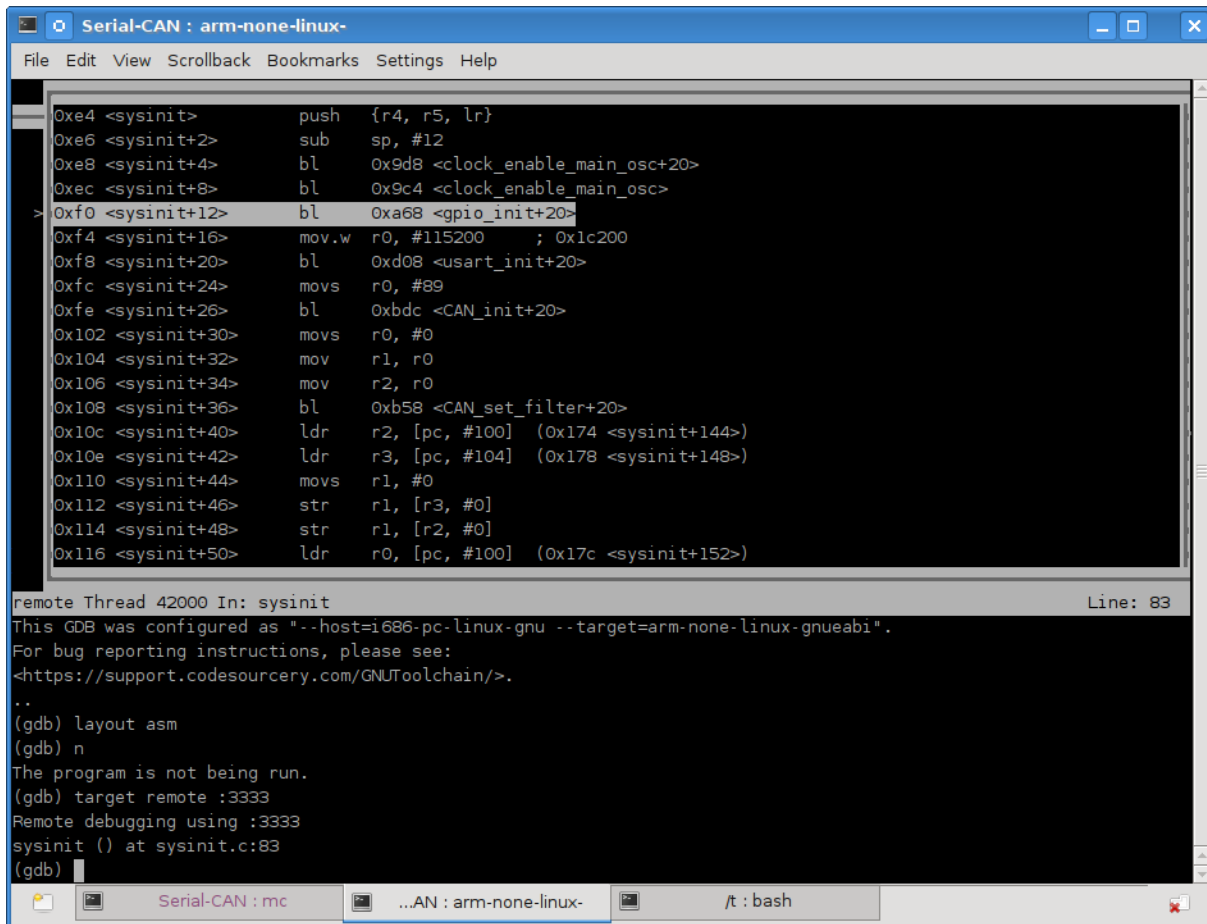
```

target state: halted
target halted due to breakpoint, current mode: Thread
xPSR: 0x01000000 pc: 0x0000004e
(gdb) p ptr
$1 = (unsigned char *) 0x20000000 ""
(gdb)

```

Hasznos lehet a programo fitását assembly nyelven nyomon követni. Ezt úgy érhetjük el, hogy a `layout asm` parancsot adjuk a GDB-nek.

## 2. Az ARM processzorok



The screenshot shows a GDB window titled "Serial-CAN : arm-none-linux-". The main pane displays assembly code for the `sysinit` function, with addresses ranging from `0xe4` to `0x116`. The code includes instructions like `push {r4, r5, lr}`, `sub sp, #12`, and various `bl` (branch with link) instructions to `clock_enable_main_osc`, `gpio_init`, `usart_init`, and `CAN_init`. It also shows register movements and memory loads/stores. The status bar at the bottom indicates "remote Thread 42000 In: sysinit" and "Line: 83". Below the main pane, there is a console window showing GDB commands and output: `(gdb) layout asm`, `(gdb) n`, and a message "The program is not being run." followed by target and remote debugging information.

```
0xe4 <sysinit>      push {r4, r5, lr}
0xe6 <sysinit+2>    sub  sp, #12
0xe8 <sysinit+4>    bl   0x9d8 <clock_enable_main_osc+20>
0xec <sysinit+8>    bl   0x9c4 <clock_enable_main_osc>
> 0xf0 <sysinit+12> bl   0xa68 <gpio_init+20>
0xf4 <sysinit+16>    mov.w r0, #115200 ; 0x1c200
0xf8 <sysinit+20>    bl   0xd08 <usart_init+20>
0xfc <sysinit+24>    movs  r0, #89
0xfe <sysinit+26>    bl   0xbdc <CAN_init+20>
0x102 <sysinit+30>   movs  r0, #0
0x104 <sysinit+32>   mov   r1, r0
0x106 <sysinit+34>   mov   r2, r0
0x108 <sysinit+36>   bl   0xb58 <CAN_set_filter+20>
0x10c <sysinit+40>   ldr   r2, [pc, #100] (0x174 <sysinit+144>)
0x10e <sysinit+42>   ldr   r3, [pc, #104] (0x178 <sysinit+148>)
0x110 <sysinit+44>   movs  r1, #0
0x112 <sysinit+46>   str   r1, [r3, #0]
0x114 <sysinit+48>   str   r1, [r2, #0]
0x116 <sysinit+50>   ldr   r0, [pc, #100] (0x17c <sysinit+152>)
```

remote Thread 42000 In: sysinit Line: 83  
This GDB was configured as "--host=i686-pc-linux-gnu --target=arm-none-linux-gnueabi".  
For bug reporting instructions, please see:  
<<https://support.codesourcery.com/GNUToolchain/>>.  
..  
(gdb) layout asm  
(gdb) n  
The program is not being run.  
(gdb) target remote :3333  
Remote debugging using :3333  
sysinit () at sysinit.c:83  
(gdb)

Termékekben lehetőségünk van visszatérni a C nyelvű nyomkövetéshez: használjuk a `layout prev` parancsot.

```

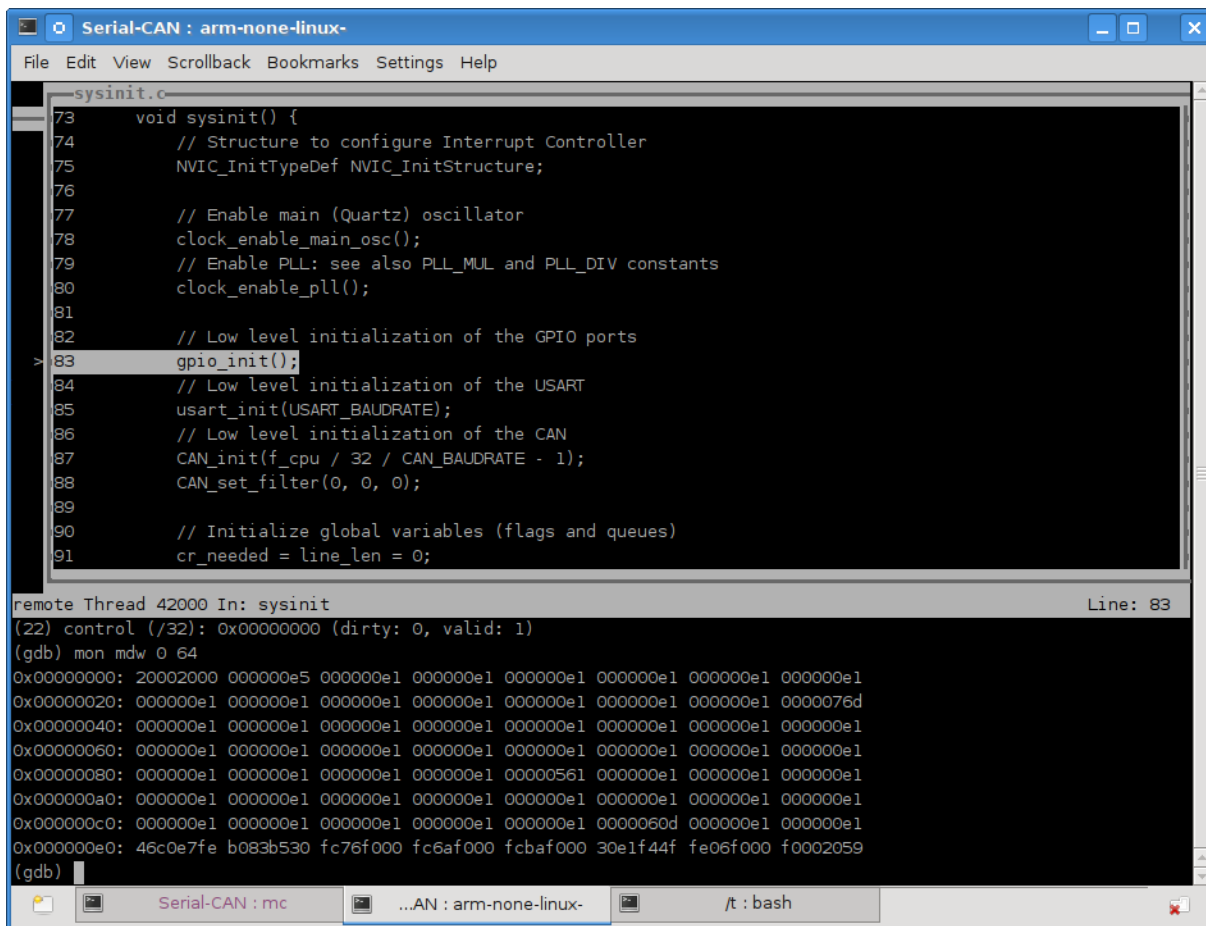
Serial-CAN : arm-none-linux-
File Edit View Scrollback Bookmarks Settings Help

sysinit.c
73 void sysinit() {
74     // Structure to configure Interrupt Controller
75     NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;
76
77     // Enable main (Quartz) oscillator
78     clock_enable_main_osc();
79     // Enable PLL: see also PLL_MUL and PLL_DIV constants
80     clock_enable_pll();
81
82     // Low level initialization of the GPIO ports
83     gpio_init();
84     // Low level initialization of the USART
85     usart_init(USART_BAUDRATE);
86     // Low level initialization of the CAN
87     CAN_init(f_cpu / 32 / CAN_BAUDRATE - 1);
88     CAN_set_filter(0, 0, 0);
89
90     // Initialize global variables (flags and queues)
91     cr_needed = line_len = 0;

remote Thread 42000 In: sysinit Line: 83
For bug reporting instructions, please see:
<https://support.codesourcery.com/GNUToolchain/>.
..
(gdb) layout asm
(gdb) n
The program is not being run.
(gdb) target remote :3333
Remote debugging using :3333
sysinit () at sysinit.c:83
(gdb) layout prev
(gdb)

```

Ha azt gondolja az Olvasó, hogy elég nehézkes két program egyidejű használata ugyanarra a célra, jól gondolja. Szerencsére a GDB programozói gondoltak erre az esetre is: a mon (minotor) parancs a paraméterként kapott sztringet átadja az OpenOCD-nek az pedig úgy hajtja végre, mintha közvetlenül annak adtuk volna ki a parancsot: a következő kép azt mutatja, hogy mi történik a mon mdw 0 64 utasítás hatására – azaz írja ki a memória tartalmát a 0. címtől 64 bájt hosszan.



Ezzel elérkeztünk a fordítás, a linkelés, a letöltés és a nyomkövetés tárgyalásának végére. Az eddig elmondottak minden ARM Cortex-M3 mikrovezérlőre igazak (kivéve az OpenOCD memória konfigurációja, az sajnos gyártófüggő).

Az OpenOCD és a GDB parancsait nem tudom olyan részleteséggel ismertetni, mint szeretném, de elég sok dokumentáció található az interneten mindkét programról.

## 2.4. Gyártóspecifikus hardver kezelése

Az előbbi fejezetben arra koncentráltam,

## STM32 blokkvázlata!

Firmware library, soros port és LED-ek (DEBUG), STM32 specifikus dolgok, PLUSZ a megszakításvezérlő.

## 3. Soros-CAN átalakító

Motiváció: kommunikáció a CAN-es eszközökkel, modern buszok használata, debug.

### 3.1. A soros (RS-232) interfész működése és használata

A CAN busz tulajdonságai, megvalósítása STM32-ben

Lehet írni a hálózati topológiáról, a hardverről (fizikai réteg, szívásfaktor: földelés, bitsebesség, stb.).

MAC+LLC: Keretek formátuma, maszk, id, priorítás szintek, címek, utasítások.

Itt lehet írni a fw lib. függvényeiről, és a CAN keret küldéséről. Zita tud fényképet csinálni szkópról!

### 3.2. Kommunikáció a PC-vel: CLI és GUI

Ugyanaz, mint a CAN.

### 3.3. A CAN busz működése

### 3.4. A soros-CAN átalakító megépítése

A teljes USB-CAN átalakító, blokkvázlattal, kapcsolási rajzzal, NYÁK-tervvel, szoftverrel, szoftver keretrendszer.



## **4. A \_\_FIXME\_\_ kialakítása**

### **4.1. Motiváció, hardver specifikáció**

A \_\_FIXME\_\_ kialakítása, hardveres megfontolások, specifikáció.

### **4.2. A \_\_FIXME\_\_ felépítése**

A \_\_FIXME\_\_ kialakítása, blokkvázlat, kapcsolási rajz, NYÁK-terv, szoftver háttere, szoftver keretrendszer.

#### **4.2.1. Blokkvázlata, működése**

#### **4.2.2. Kapcsolási rajza, NYÁK-terve**

#### **4.2.3. Szoftver keretrendszer**

### **4.3. Kommunikáció CAN-es eszközökkel**

kommunikáció a már elmondott CAN-nel (magasabb rétegek?).  
Szoftver megoldások.





## 5. Továbbfejlesztési lehetőségek

ilyen nem lesz.

---

## **6. Összefoglalás, végkövetkeztetés**

---

## **7. Címsor 1**

### **7.1. Címsor 2**

#### **7.1.1. Címsor 3**

##### **7.1.1.1. Címsor 4**

Szöveg

- bullet
- bullet
- bullet
- 

#### **7.1.2. Tisztelet Sákjamuni buddhának**

---

## 8. Felhasznált szoftverek

- OpenOffice.org 2.4 – szövegszerkesztő, szövegformázó
- <http://www.lipsum.com/> – Lorem Ipsum generátor a szövegformázáshoz
- GCC – GNU Compiler Collection (GNU fordítógyűjtemény) – C/C++ fordító
- OpenOCD – Open On-Chip Debugger (nyílt \_\_FIXME\_\_ nyomkövető)
- STM32 Firmware Library – STM32 beágyazott programkönyvtár
- 

## 9. Felhasznált irodalom

- Cortex™-M3 Technical Reference Manual – műszaki referencia kézikönyv
- RM0008 STM32 Reference Manual – STM32 referencia kézikönyv
- <http://wikipedia.org/> – A szabad enciklopédia (az ARM processzorok története)
-





## Tárgymutató

A.....	30	purus.....	7
Aliquam.....	7	quam.....	7
átalakító.....	7, 9, 29	rutrum.....	7
dolor.....	7	tellus.....	7
lorem.....	7	tortor.....	7
Praesent.....	7		