

Sharp típusú optikai távolságmérőn alapuló 3D Lidar szerű szkennerek

Fejér Norbert
Számítástechnika IV.A

A projekt bemutatása

A projekt célja egy Lidar szerű 3D szkennel megvalósítása FPGA áramkör segítségével. Első lépésben a tér feltérképezése vízszintes irányban történik 180°-ban, egy léptetőmotorra szerelt Sharp típusú ultrahangos távolságérzékelő segítségével. A projekt továbbfejlesztésének következő lépése ennek a megvalósításnak a kibővítése lenne, mely segítségével 3D-ben is megvalósulna a feltérképezés.

A feladat további része az így kapott távolság megjelenítése, vizualizálása System Generator segítségével. Továbbfejlesztési lehetőségként feltehető ugyanakkor a kapott értékek térben történő megjelenítése különböző vizualizálási technikák segítségével, például egy adott felülelten.

Rendszerkövetelmények

A projekt egy FPGA típusú fejlesztői lap segítségével lesz megvalósítva VHDL nyelvben, illetve VIVADO környezet alatt. A modulok tervezése, implementálása és tesztelése során Vivado 2018.1-es szoftvert, illetve a Symulink használatához MatLab R2017b verzióját használom.

A felhasznált hardverek tekintetében a következő elemre lesz szükségem:

- Zybo fejlesztő lap (Zynq-7000 ARM/FPGA SoC Trainer Board)
- Analóg- digitális átalakító (ADC121S021)
- Sharp típusú optikai távolságmérő (Sharp GP2Y0A60SZLF)
- Szervomotor

A különböző hardverek által elvárt karakterisztikák

Zybo fejlesztői lap

- Xilinx Zynq-7000 családra épülő beágyazott szoftver és digitális áramkör fejlesztő platform
- Block RAM mérete: 240 Kb
- DDR3 RAM: 512 MB
- Órajel frekvencia: 450 MHz+
- Pmod csatlakozók száma: 6 Pmod port

Analóg- digitális átalakító

- Referencia feszültség: 2.7 V - 5.25 V
- Bementi órajel értéke: 1 MHz - 4 MHz
- Mintavételezés értéke: 50 - 200 ksps
- Üzemi hőmérséklet: -40°C - 85°C

Optikai távolságmérő

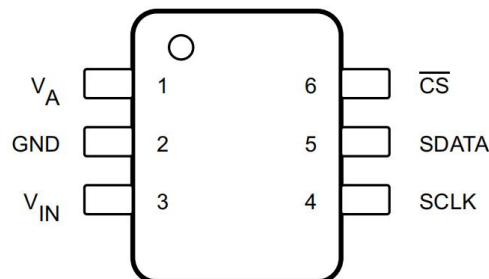
- Bementi feszültség (V_{cc}): 3V vagy 5V
- Kontrol feszültség: 2.3-tól V_{cc} -ig - magas feszültség, max 0.2V - alacsony feszültség
- Mérési tartomány: 10- 150 cm
- Egy mérés elvégzéséhez szükséges idő: minimális idő 16.5 ms, maximális idő: 25.2 ms
- Kimeneti feszültség értéke: 0-5V között
- A kimeneti feszültséget logaritmikusan kapjuk meg, így a későbbiekben ezt lineariálnunk kell az adatok helyes kiolvasása végett

Szervomotor

Rendszer specifikáció

Az ADC felépítése

Be- kimeneti jelek



V_A - referencia feszültség

GND - földelés

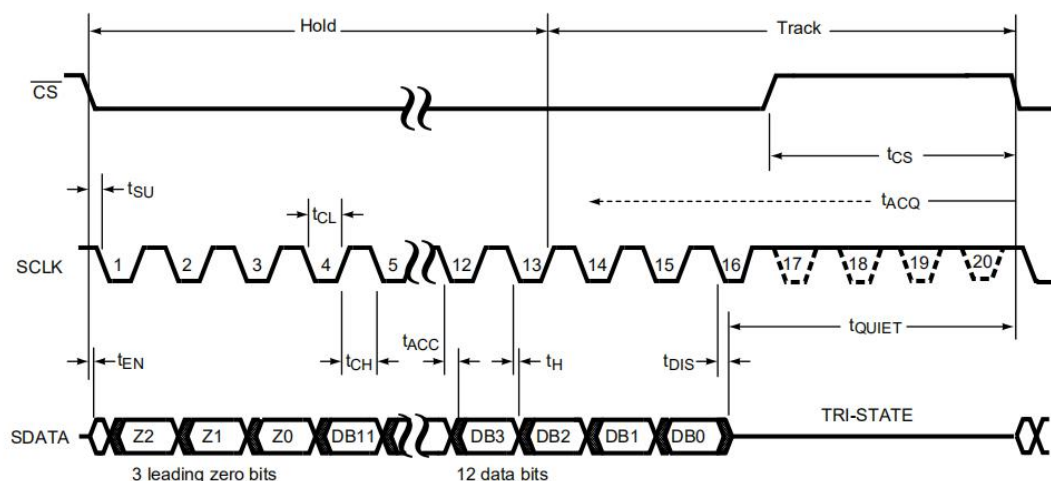
V_{IN} - aktuális bementi feszültség, amit átalakítunk majd bináris számmá

CS - chip select

SDATA - egybites érték, ahol sorra olvasunk majd egy 12 bites bináris számot

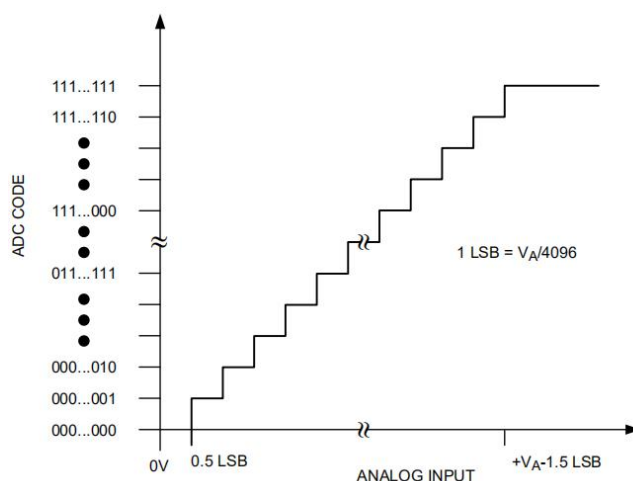
SCLK - órajel, melynek ütemére az átalakítás megtörténik

Idődiagramm



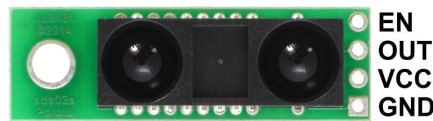
Amikor a CS 1-re állítódik megtörténik a konverzió. Az órajel minden lefutó éllén megtörténik egy új bit kiírása, illetve a felfutó órajel segítségével ki tudjuk olvasni az aktuális bit értékét. A teljes ciklus 20 órajelig tart, az első 3 órajel zérós bitteket fog beolvasni, ezt követi a valós 12 bites érték, mely a számunkra hasznos információt fogja tartalmazni. Az utolsó 4 órajelre történő beolvasásra nem lesz szükségünk, ez gyakorlatilag csak a teljes ciklus megvárásának idejét és az adatok koherenciáját fogja megvalósítani.

Az ADC eredménye



Az ADC kimenete egy 12 bites bináris szám lesz, mely a fenti diagramm szerint van számolva. A maximális V_A értéknek megfelel egy 12 bites csupán 1-eseket tartalmazó bináris érték, amely gyakorlatban a 4095-ös számnak felel meg, mivel 12 biten ez a maximálisan fellrható legnagyobb szám. Szóval az aktuális értékünket egy hármasszabálynak megfelelően kell kiszámítanunk, amely a valós értéket fogja megadni és REAL típusként majd visszatérítenünk.

A távolságmérő felépítése



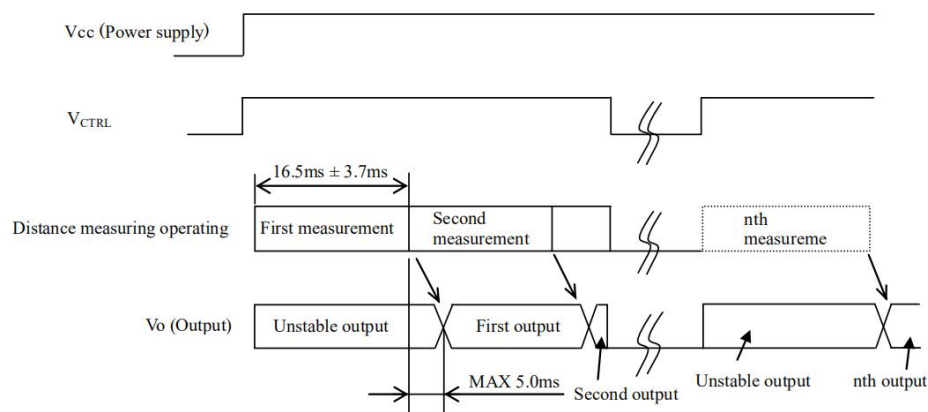
EN - enable jel a mérés megkezdése érdekében

OUT - kimenő feszültség, melyből ki tudjuk számolni az aktuálisan mért távolságot

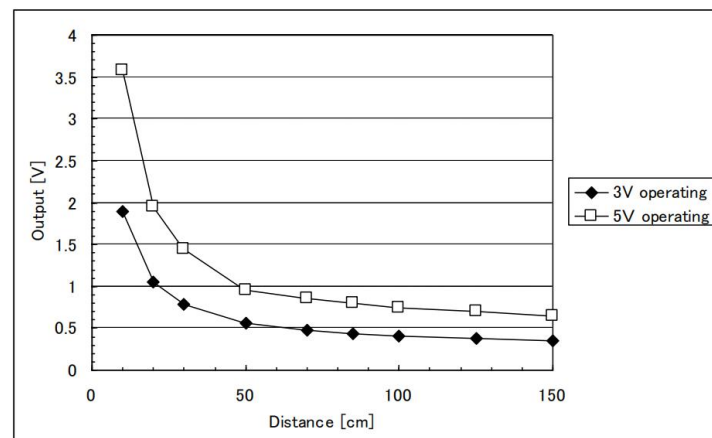
VCC - tápfeszültség

GND - földelés

Idődiagramm

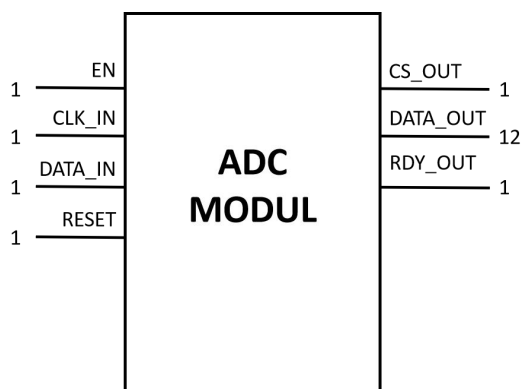


A V_{CTRL} jel segítségével elindítjuk a mérés elkezdését. Egy max 0.2 V-os jelig az érzékelő standby állapotban van, ha ennél nagyobb jelet adunk meg, amelyik 2.3V és V_{CC} tartományban van, akkor elkezdődik a mérés. Egy mérés a fent megadott ms időtartamig tart, viszont ez nem stabil mérés lesz, szóval ugyanezt a mérést megismételve megkapjuk az aktuális, stabil és pontos mérés eredményét. Kimenatként szintén egy feszültséget kapunk meg, amelyet a lent látható logaritmikus függvény segítségével tudunk vissza számolni távolságra, az eredményt cm-ben kapjuk meg. A modulunk 10cm és 150cm- es tartományban mér pontosan.



Modulok tervezése

ADC_MODUL

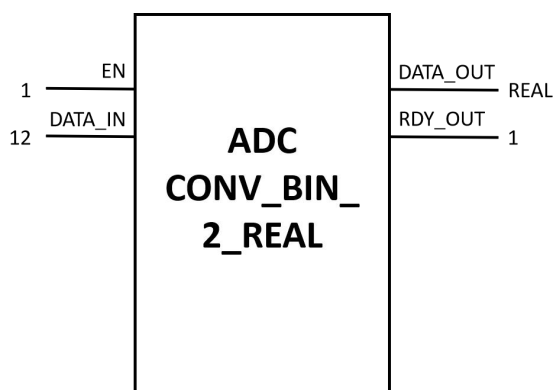


Az ADC_MODUL segítségével a Sharp típusú távolságérzékelő által kapott feszültséget fogom átalakítani bináris számmá. Ez a modul fogja megvezérelni az ADC átalakítót.

Jelek magyarázata:

- **EN** - a modul engedélyező bitje
- **CLK_IN** - leosztott órajel, egy 1MHz- 4MHz-s órajelet csatolunk a bemenetre, amely segítségével az átalakítást tudom kontrollálni
- **DATA_IN** - egybites bemenet, itt fogom megkapni a bináris szám szemjegyeit, minden órajelre egy számjegyet olvasok be
- **RESET** - a modult a kezdeti állapotba állítom
- **CS_OUT** - az inicializálás után ha ezt a bitet engedélyezem, akkor az ADC elkezd az átalakítást és minden órajelre küldd egy bittet
- **DATA_OUT** - ebben a vektorba fog eltárolódni a kimeneti bináris értékem
- **RDY_OUT** - amikor a modul befejezte a munkáját ezzel a bittel jelzi, hogy végzett és az adat kiolvasható a belső regiszteréből

ADC CONV_BIN_2_REAL

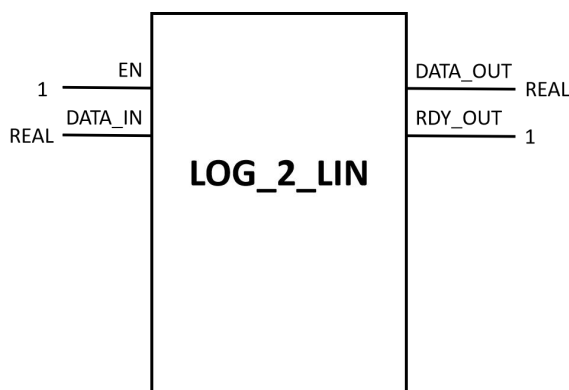


A modul segítségével az ADC modultól kapott bináris értékből kiszámoljuk az aktuális feszültség értéket és visszatérítjük azt valós formában.

Jelek magyarázata:

- **EN** - aktiváljuk az adott modult
- **DATA_IN** - bemeneti bináris szám
- **DATA_OUT** - kimeneti valós szám, ami a Sharp szenzor által mért feszültség szintnek felel meg
- **RDY_OUT** - az átalakítás befejeztét jelző bit

LOG_2_LIN

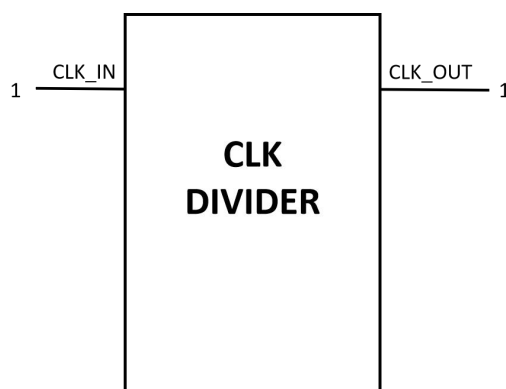


A Sharp szenzorunk által visszatérített feszültség logaritmikus skálán van értelmezve, ahogyan azt fennebb is tárgyaltuk, így ezt linearizálnunk kell az adott távolság kinyerése végett.

Jelek magyarázata:

- **EN** - kiválasztjuk és engedélyezzük a modulunkat
- **DATA_IN** - bemeneti valós érték, amit feszültség szintként értelmezünk, és a Sharp optikai távolságmérő adatlapjában található függvény segítségével távolsággá alakítunk, ez az eredmény szintén valós szám lesz cm-ben kifejezve
- **DATA_OUT** - kimenet, amely a mért távolságot tartalmazza
- **RDY_OUT** - a kimenet kiszámításának végezetét jelző bit

CLK DIVIDER

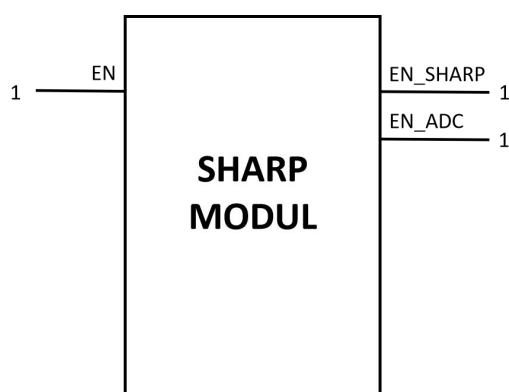


Órajel osztó modul, amely a megadott bemeneti órajelet egy kisebb órajelre osztja le és ennek a kimenete fog az ADC-re kerülni, mivel az FPGA működési frekvenciája és belső órajele 50MHz, viszont a mi ADC-k 1MHz és 4MHz tartományban működik megbízhatóan és jól.

Jelek magyarázata:

- **CLK_IN** - bemeneti órajel
- **CLK_OUT** - kimeneti, leosztott órajel, az osztás mértékét programból határozzuk meg, generikus paraméterek segítségével

Sharp modul

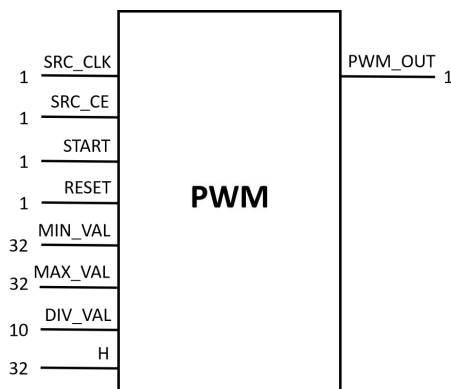


A Sharp modul segítségével magát a Sharp szenzor működését engedélyezzük. Amikor ezt a modult kiválasztjuk az EN jel segítségével elindítja a Sharp szenzort, ami elkezd mérni, a megfelelő időpontban engedélyezi az ADC átalakítót, ami a mért feszültséget a megfelelőképpen átalakítja binárisba és küldi tovább a megfelelő modulnak. Ez a modul gondoskodik arról is, hogy a megfelelő időpillanatban történjen az ADC mintavételezése az optikai távolságmérő szenzortól az adatok helyességének fenntartása végett.

Jelek magyarázata:

- **EN** - kiválasztójel
- **EN_SHARP** - engedélyezem, hogy az optikai szenzor elkezdje a mérést
- **EN_ADC** - engedélyezem az ADC modult, hogy mintavételezzon, és az optikai szenzortól kapott feszültség értéket binárisra alakítsa

PWM jelgenerátor

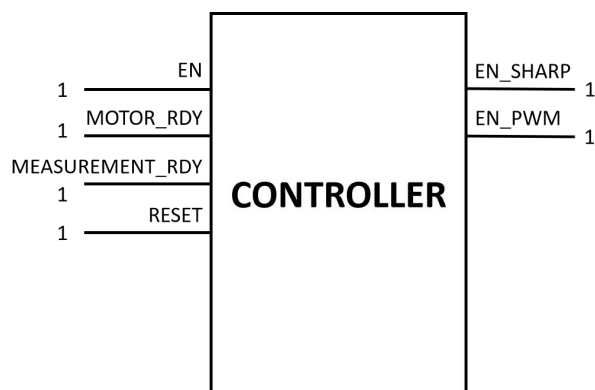


A PWM jelgenerátor modul segítségével megadott PWM jeleket generálunk, amelyeket a szervomotorunkra irányítunk és ez fogja 180°-ban elforgatni az optikai szenzort a megfelelő mintavételezés végett.

Jelek magyarázata:

- **SRC_CLK** - bemeneti órajel
- **SRC_CE** - órajel engedélyező
- **START** - modul indítása
- **RESET** - kezdeti állapotba állítás
- **MIN_VAL** - minimális kitöltési tényező
- **MAX_VAL** - maximális kitöltési tényező
- **H** - kitöltési tényező
- **DIV_VAL** - előosztó

Controller



Lényegében véve a Controller modul végzi az összes többi modul összehangolt működését. Kiadja a motor vezérlését, léptetését és ütemezi a megfelelő mintavételezést az optikai szenzor részére. Felügyeli az adatok egymás utáni kezelését, illetve a függőségek kiaknázását.

Jelek magyarázata:

- **EN** - engedélyezük a program futását
- **MOTOR_RDY** - jelzi, hogy a szervomotorunk fordult egy bizonyos fokot
- **MEASUREMENT_RDY** - jelzi, hogy a távolság mérése megtörtént és következhet a következő mérés a szervomotor egy más pozíciójában, egy más szögben (a mérés ebben az esetben tartalmazza az átalakítási és skálázási műveleteket is)
- **RESET** - kezdeti állapotba helyezi a modult
- **EN_SHARP** - elindítjuk a távolságmérő modulunkat
- **EN_PWM** - generáljuk a következő PWM jelet a motor egy bizonyos fokka való elmozgatása végett