

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar

Villamosmérnöki és Mechatronikai tanszék

**Prediktív hőmérés alkalmazása hőérzékeny
„elektronikus bőr” kialakításához**

Készítette: **Molnár Zsolt,**
Mechatronikai mérnök hallgató

Debrecen

2014.

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	3
Elektronikus bőr, miért van szükség rá	3
Hőmérési módszerek és ezek problémái	4
Hipotézis	6
Tesztmérések kivitelezése	7
Tesztmérések célja	7
Érzékelő kiválasztása	7
Digitalizáló eszköz megválasztása	8
Számítógépen futó program	9
A mérés leírása	11
Mérési eredmények kiértékelése	13
Alkalmazási területek	15
Prototípus elektronikus bőr kivitelezése	17
A prototípus továbbfejlesztése	21
Köszönetnyilvánítás	22
Ábrajegyzék	23
Irodalomjegyzék	24

BEVEZETÉS

ELEKTRONIKUS BŐR, MIÉRT VAN SZÜKSÉG RÁ

Az automatikus rendszerek és a robotika elterjedésével egyre inkább növekszik az igény a különböző érzékelők megtervezésére. A robotikában egy speciális ágazatokat jelent a humanoid robotok[4] és az érzékelőkkel felszerelt, tárgyak manipulálására alkalmas művégtagok[1] kifejlesztése. Ezen rendszerek a mechatronikus rendszer[5] legjobb példái, ugyanis a megfelelő működésükhöz szükség van mérésre, digitális adatfeldolgozásra mikroprocesszorok segítségével valamint a mért értékek alapján valamilyen mozgást kell szolgáltatassanak aktuátorok segítségével.

E három egységből (mérő, feldolgozó, végrehajtó) álló rendszert bezárva egy szabályzókört kapunk. A szabályzókörök hatásossága a három egység sebességén múlik. Kutatásomban kifejezetten a mérő egységre fektettem a hangsúlyt, ugyanis felméréseim alapján ezen a téren jelentkeznek a legnagyobb hiányosságok sebesség terén, antropomorf robotvégtagok[6] (mind művégtag mind robot manipulátor) esetén.

Ezek az alkalmazások speciális érzékelőket igényelnek, ugyanis, akár az emberi bőr, az érzékelők egy flexibilis[3] alapon kell elhelyezni, annak érdekében, hogy a mozgásokhoz tudjanak igazodni, valamint a manipulált tárgyak felületéhez megfelelően hozzá tudjanak simulni a mérés érdekében. Az ilyen jellegű érzékelők vagy érzékelő egységek, amelyek több típusú szenzort is tartalmaznak, egy speciális elnevezéssel vannak jellemezve, még pedig az „elektronikus bőr”[7] névvel, mivel funkcióját tekintve robotoknál olyan szerepet látnak el, mint az ember esetén a bőr, tehát különböző érzékelőket tartalmaz, amely a robot manipulátora és környezete közötti kapcsolatról ad visszajelzést a vezérlőegység számára. Ilyen érzékelők lehetnek a nyomásérzékelők, felületi érdesség érzékelők[8], hőérzékelők valamint egyéb környezeti hatásokat mérő érzékelők.

A dolgozatomban a hőérzékelés lehetőségeit és módszereit vizsgáltam, ugyanis az általam vizsgált elektronikus bőr[7] kialakításával foglalkozó kutatások a hőérzékelést[3][8][9] nem helyezték előtérbe, így szükségét láttam e terület további vizsgálatának.

A továbbiakban bemutatom, hogy hogyan lehet javítani a hőérzékelés hatékonyságát, az általam javasolt módszer gyakorlatban hogyan működik, valamint az elkészült prototípus elektronikus bört[7], amely esetén ez a módszer van alkalmazva a hő érzékelésére.

HŐMÉRÉSI MÓDSZEREK ÉS EZEK PROBLÉMÁI

A hőmérési módszerek[10] közül több féle létezik. Az egyik legismertebb az a kontakthőmérés módszer[10], ami azt jelenti, hogy a hőmérő eszközt, legyen az egy elektromos érzékelő vagy higanyszálas hőmérő, fizikai kapcsolatba van hozva a mérendő tárggyal, majd ezt követően a hőegyensúly beállása után leolvasható a hőmérséklet értéke. Ennek nagy hátránya, hogy az érzékelő hőkapacitásától függően viszonylag sok időbe kerül a mérés, ezért ez alkalmatlanná teszi e módszer alkalmazását az elektromos bőr esetén.

A kontakthőmérésen kívül az érintésmentes hőmérők[11] is igen ismertek. Ezek segítségével nagy hőmérsékletspektrumban tudunk mérni, azonban pontosságukat nagyban befolyásolja a felületek sugárzási tényezője, amely szintől, felület érdességtől változik. Ez azt jelentené, hogy ilyen szenzorok alkalmazása esetén minden manipulált tárgynál kalibrálni kéne a rendszert, ami ismét az érzékelési sebesség romlásához vezet. Továbbá e szenzorok nagyobb méretük miatt sem megfelelőek a feladathoz.

A kontakthőmérés[10] egyik speciális alkalmazása a prediktív hőmérés[2], ami azt jelenti, hogy a hőkiegyenlítődés sebességéből meg lehet határozni a végső hőmérsékletet még a hőegyensúly beállása előtt. Ezen módszer alkalmazása azt feltételezi, hogy ismerjük az érzékelő és a vele kapcsolatban lévő test közötti hővezetési ellenállást valamint a hőérzékelő hőkapacitását, ugyanis ezekből tudjuk kiszámolni az időállandóját az érzékelőnek, amely a prediktív hőmérési módszer alapja.

Ismert időállandó esetén az érzékelő hőmérsékletének változását egy függvény(1.ábra) segítségével írhatjuk le:

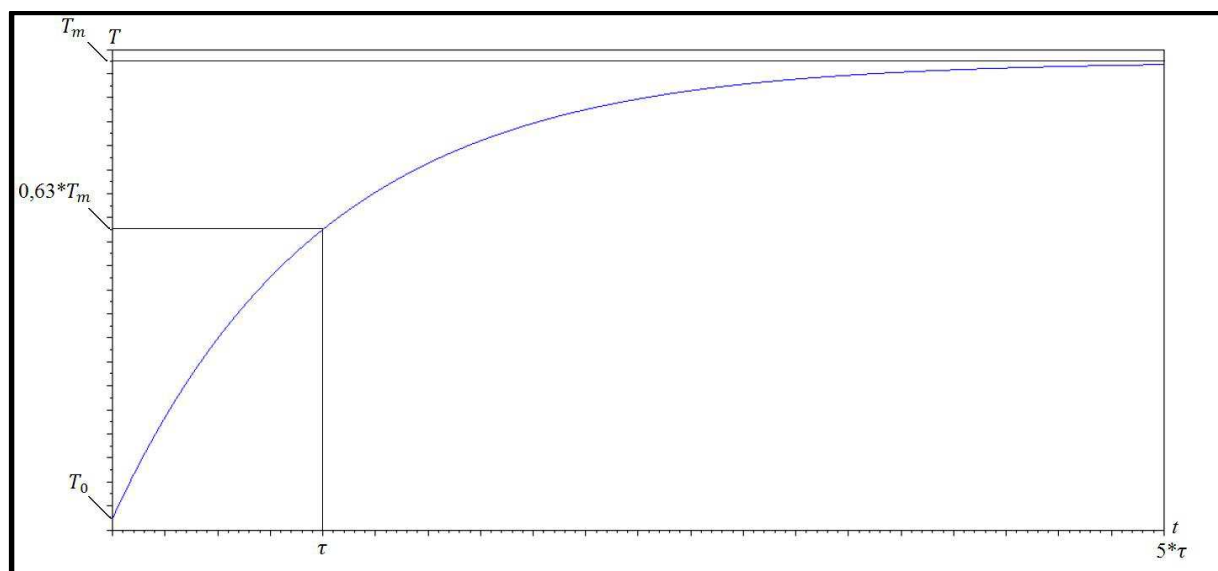
$$T(t) = T_m - (T_m - T_0)e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)}$$

1.ábra: Hőmérséklet-idő összefüggése (Forrás: [12])

Amely egyenletben: T_m a megmérni kívánt test hőmérséklete, T_0 az érzékelő kezdeti hőmérséklete, t az idő és τ az érzékelő időállandója.

A hőkiegyenlítődés logaritmikusan történik, ezért a leghatékonyabb esetben végtelen időt kéne venni. Ez matematikailag lehetséges, azonban a gyakorlati alkalmazásokhoz elegendő az időállandó ötszörösét venni.

Mivel a mérendő test hőkapacitása végtelennek tekinthető az érzékelő hőkapacitásához képest, ezért a hőkiegyenlítődés során úgy tekinthetjük, hogy a mérendő test hőmérséklete nem változik csupán az érzékelőé. Az érzékelő hőmérsékletének változását az idő függvényében ábrázolva(2.ábra), abban az esetben, amikor a mérendő tárgy hőmérséklete nagyobb, mint az érzékelő kezdeti hőmérséklete:



2.ábra: A hőkiegyenlítődési görbe a hőérzékelő esetén

Ennek a módszernek a hátránya az elektronikus bőrhöz[7] való alkalmazáshoz, hogy a manipulátor a tárgyakkal különbözőféleképpen lép kapcsolatba, így az érzékelő és a tárgy közötti hővezetési ellenállás minden tárgy esetén változik, ebből adódóan az érzékelő időállandója sem határozható meg.

HIPOTÉZIS

Következtetésképp elmondhatjuk, hogy az előzőleg felsorolt módszerek közül egyik sem alkalmazható hatásosan hőérzékeny elektronikus bőr[7] kialakításához.

Azonban, ha újragondoljuk az elektronikus bőr[7] szerepét, akkor arra a konklúzióra jutunk, hogy lényegében az emberi bőr utánzása az elsődleges cél, a hőmérési pontosság csupán másodlagos szerepet kap. Ebből kiindulva, mivel az emberi bőr a test védelmét hivatott biztosítani tárgyak manipulálása esetén is, így a bőrt károsító és nem károsító hőmérsékletű tárgyakat különbözteti meg elsődlegesen az ember számára nagyon rövid idő alatt.

Ezt véve alapul, elsődleges szempontként művégtagok[1] és humanoid robotkarok[4] esetén elegendő e két különböző kategóriába sorolható tárgyak megkülönböztetése.

Végző célként egy olyan hőérzékeny és hajlékon elektronikus bőr[7] kialakítását tűztem ki, amely képes a másodperc töredéke alatt megkülönböztetni az ember számára megfogható és nem megfogható hőmérsékletű tárgyakat és ugyanakkor a kereskedelembe elérhető, alacsony költségű alkatrészekből és technológiákból legyen megvalósítható.

Ezt a hőkiegyenlítődési görbe(2.ábra) mérésekkel meghatározott szakaszának a meredekségének a vizsgálata által valósítom meg, azonban ezen feltételezés ellenőrzésére előzetes tesztmérések szükségesek.

TESZTMÉRÉSEK KIVITELEZÉSE

TESZTMÉRÉSEK CÉLJA

A tesztmérések célja a hipotézisben említett hőkiegyenlítődési görbének(2.ábra) a megfelelő szakaszának a meghatározása és a meredekség-próbatest hőmérséklete közötti összefüggés egyértelmű bizonyítása.

ÉRZÉKELŐ KIVÁLASZTÁSA

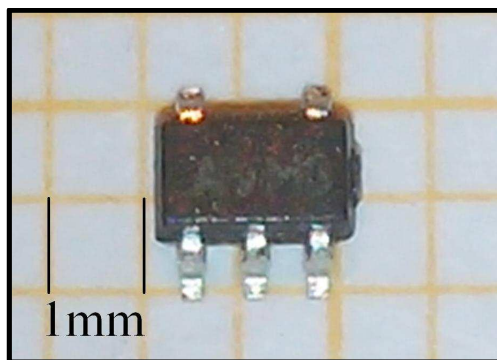
A hőérzékelő kiválasztásánál a stabil működés, kompakt kivitel és az ebből adódó kis hőkapacitás voltak a fő szempontok, azonban ezek mellett könnyen beszerezhető és alacsony költségű kellett legyen.

Ezen feltételekből esett a választás a Microchip cég által gyártott MCP9701[13] típusú lineáris aktív termisztorra. Az aktív jelző azt jelenti, hogy egy tokba van integrálva a hőérzékelő és a jelerősítő áramkör is, ezáltal nincs szükség külső jelerősítésre. Mivel az érzékelő és erősítő áramkör között így a lehető legrövidebb a vezetőhossz, ezért a külső zavarok is a lehető legkisebbre vannak csökkentve.

Egyetlen hátránya, hogy az érzékelő kimeneti jele analóg, amit a későbbi feldolgozáshoz digitalizálni kell.

Léteznek közvetlen digitális kimenetű hőérzékelők[14], azonban ezeknek a konverziós sebességük túl alacsony a kitűzött cél megvalósításához és költség szempontjából se megfelelőek.

A választott érzékelő méreteinek szemléltetése érdekében milliméterpapírra helyeztem(3.ábra).



3.ábra: MCP9701 hőérzékelő

A kis méretei miatt a hőkapacitása is kicsi, ezért a hőkiegyenlítődés is rövid idő alatt megy végbe az érzékelő és a mérendő tárgy között.

DIGITALIZÁLÓ ESZKÖZ MEGVÁLASZTÁSA

A jelek digitalizálására való eszköz kiválasztásakor figyelembe kell venni, hogy biztosítani tudja a szükséges mintavételezési sebességet, a kellő felbontást, valamint valós időben továbbítani tudja a mért értékeket a számítógépre a további feldolgozás és grafikus ábrázolás(4.ábra) érdekében.

Ezeket figyelembe véve a választás csakúgy egy, a Microchip cég által gyártott termékre esett, a dsPIC33FJ128[15] típusú mikrovezérlőre[18].

Fő paramétereit[15] tekintve, maximális program végrehajtási sebessége 40MIPS, 16 bit-es architektúrával rendelkezik, soros porton[16] keresztül maximálisan 10Mbps-os sebességű kommunikációra képes és a legfontosabb paramétere, hogy 12 bit felbontású, 500ksps mintavételezési sebességre képes analóg-digitális átalakítóval[17] rendelkezik.

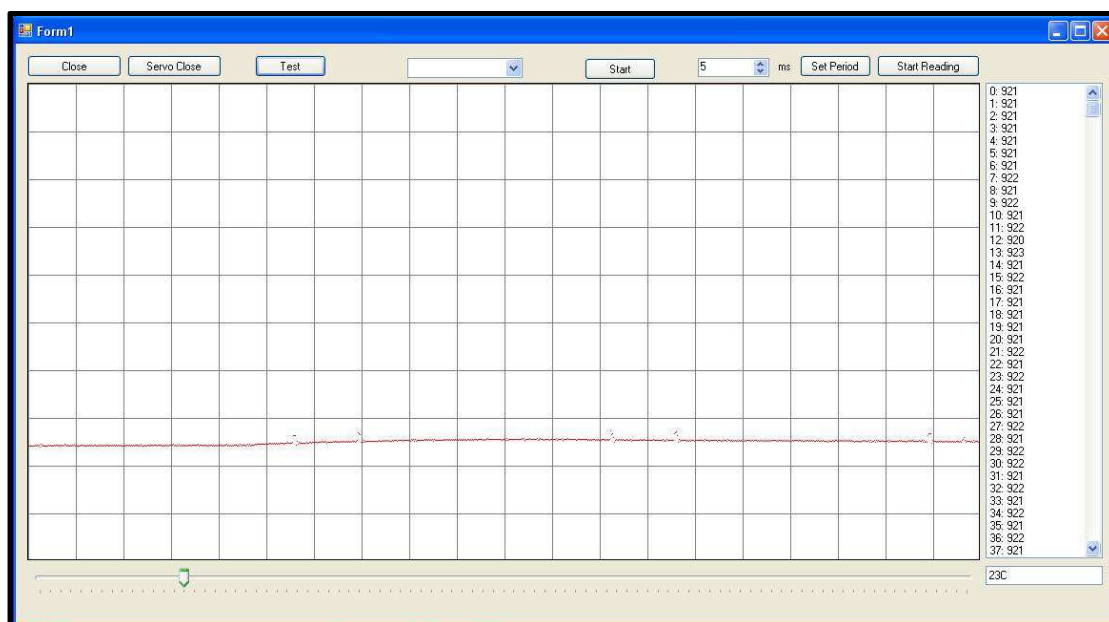
A mikrovezérlő[18] programjának megírása, lefordítása és a mikrovezérlőre[18] való feltöltése a Microchip által kifejlesztett és ingyenesen hozzáférhető MPLAB IDE[19] fejlesztői környezetben történt a PICkit2[20] programozó eszköz segítségével.

SZÁMÍTÓGÉPEN FUTÓ PROGRAM

A mérési folyamat komplex vezérlést és adatfeldolgozást igényel, ezért egyedi kezelőfelület(4.ábra) és vezérlőprogram megírására volt szükség, azonban ezzel együtt a rövid fejlesztési idő is fő szempont volt.

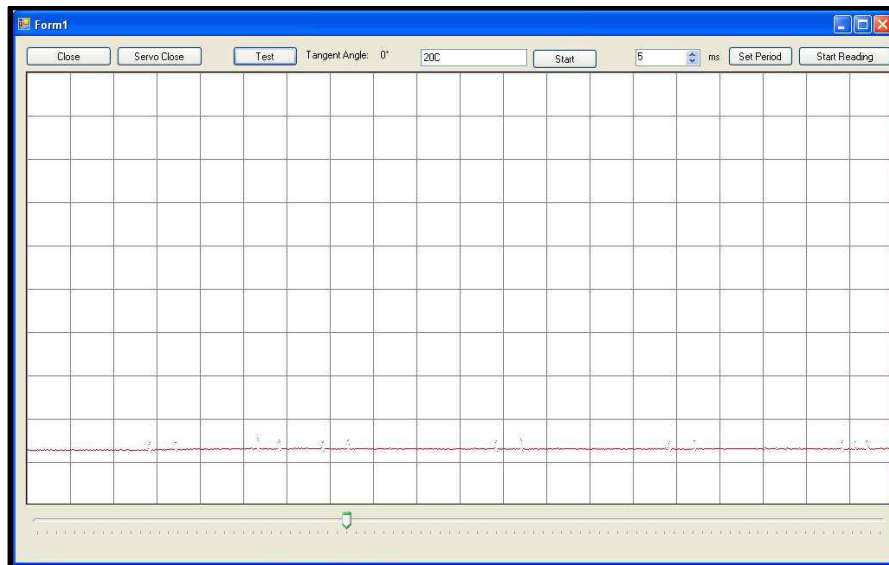
A fent említetteket figyelembe véve, a választás a Microsoft Visual Studio[21] fejlesztői környezetre esett, ezen belül a C#[22] programozási nyelvre. Ebbe lett megszerkesztve és megírva a vezérlést és adatfeldolgozást végző program. A fejlesztés során a kezelőfelületnek két verziója készült el.

Az első változat az értékeke beolvasását valósította meg(4.ábra).



4.ábra: Kezelőfelület első változata

A második változata a kezelőfelületnek a hőkiegyenlítődési görbe meredekségét meghatározó algoritmus is beépítésre került(5.ábra).



5.ábra: Kezelőfelület második változata

A MÉRÉS LEÍRÁSA

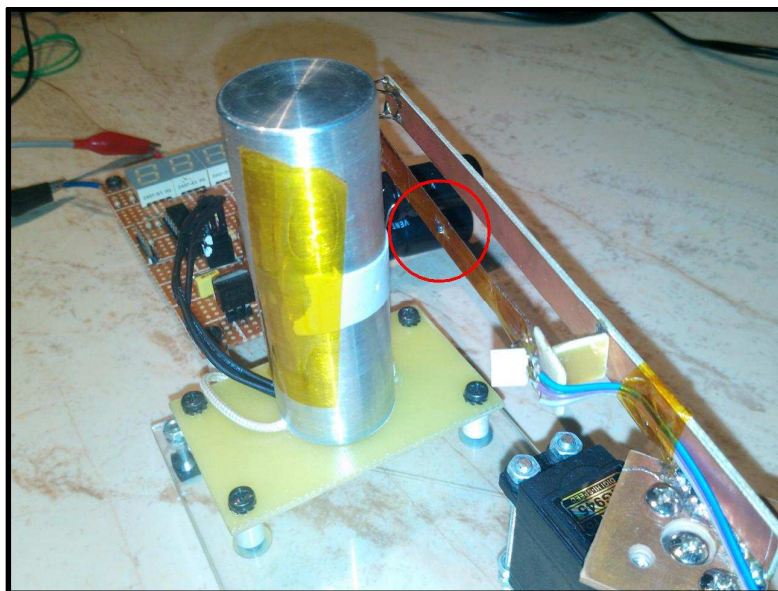
A mérés során, a mérés célját képző adatok és ezekből a következtetésképp levont eredmények elérése a cél. Ehhez azonban a mérést megfelelően kell kivitelezni és elvégezni, a lehető legtöbb zavaró tényezőt, amelyek befolyásolják a mért értékeket, ki kell zárni.

Ennek érdekében a mérés szobahőmérsékleten történt, zárt és ellenőrzött hőmérsékletű helységben.

A mintamérésekhez a próbatest egy állítható hőmérsékletű, nagy hőkapacitású és jó hőkontaktust biztosító henger(6.ábra), rugalmas hővezető anyaggal bevont érintkezési felülettel.

Az érzékelő, az említett kis hőkapacitású aktív termisztor[13], flexibilis nyomtatott áramköri lapra[23] szerelve a hőkapacitás minimalizálása érdekében.

Az emberi tényező kiküszöbölése miatt, az érzékelő próbatesthez való érintését automatikusan, egy, a számítógép által vezérelt, szervomotor[24] végzi. A kialakítás az alábbi képen látható. A pirossal kiemelt rész a hőérzékelő felszerelési helyét jelzi, mellette balra található a próbatest bevont felülete(6.ábra).

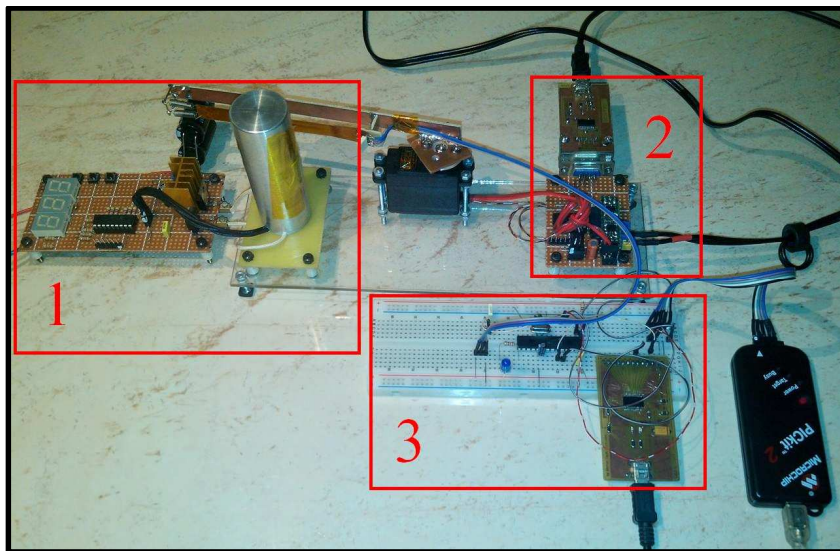


6.ábra: A hőérzékelő felszerelve

Egy mérési folyamatot teljes mértékben a számítógép vezérelt és a következő lépésekből áll:

1. A próbatest(6.ábra) hőmérsékletét beállítjuk a mérni kívánt hőmérsékletre, majd megvárjuk a hőmérséklet stabilizálódását.
2. A hőmérséklet stabilizálódása után a mérést a kezelőfelületen(5.ábra) található „Test” gomb lenyomásával el lehet indítani.
3. A gomb lenyomása után elindul a mintavételezés.
4. Előre megadott idő után a szervomotor[24] hozzáérinti az érzékelőt, ugyanúgy előre meghatározott időre, a próbatest rugalmas hővezető anyaggal bevont felületéhez(6.ábra).
5. A hőérzékelő próbatesttől(6.ábra) való eltávolítása után a mintavételezés a mérési ciklus végéi zajlik (a leoptimálisabbnak az 5 másodperces mérési ciklusok bizonyultak), majd az adatok feldolgozásra kerülnek a számítógép által.
6. Az adatok feldolgozása során meghatározásra került a kék háttérrel, a program által kiemelt rész meredeksége(8.ábra).

A mérőberendezés összeállítva, a mérések elvégzéséhez kész állapotban(7.ábra).



7.ábra: Összeállított mérőberendezés

Az elhatárolt részek(7.ábra) a következő egységeket jelölik:

1. A próbatest és a próbatest hőmérsékletét szabályozó áramkör.
2. A szervomotort vezérlő elektronika, amely a számítógéphez csatlakozik.
3. A hőérzékelő adatait digitalizáló egység és a számítógéphez való csatlakozást megvalósító áramkör.

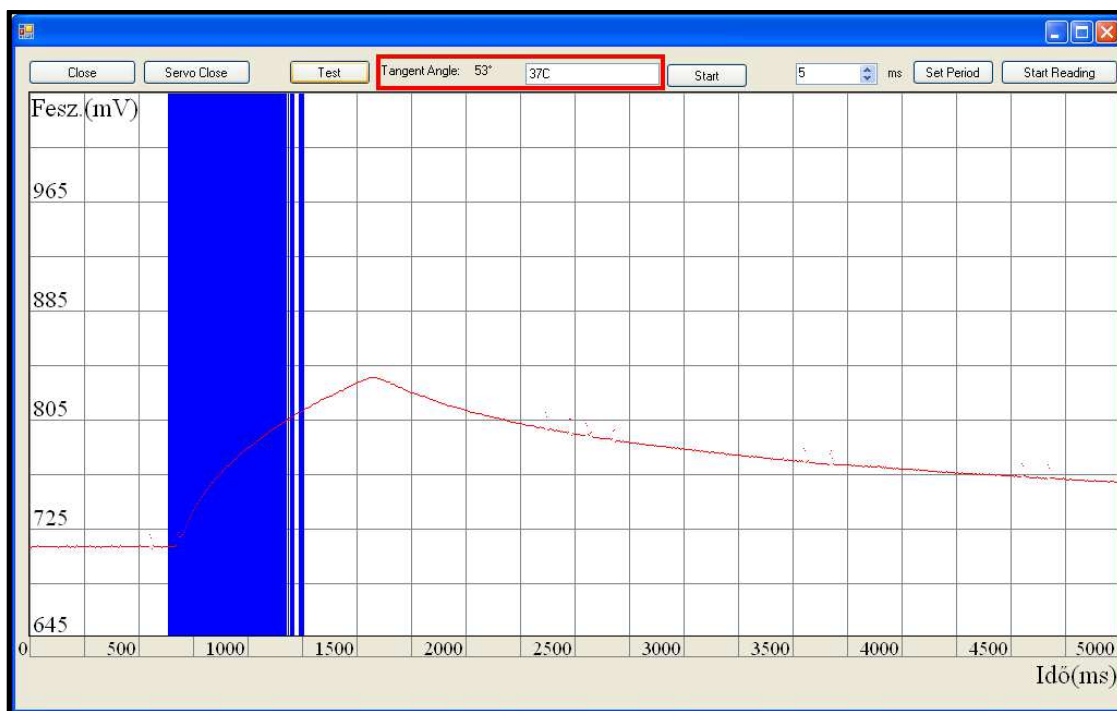
Mérési eredményeket a következő fejezetben kerülnek ismertetésre és kiértékelésre.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

A mérés során a kezelőfelület első változatával(4.ábra) 46 mérést végeztem el. Ezek között az alapállapotba történő próbamérés, amely a rendszer működését igazolja is beletartozik. Továbbá adott hőmérsékleteken a mérést többször is megismételtem, annak érdekében, hogy megbizonyosodjak a rendszer külső zavarok általi mentességéről.

A kezelőfelület második változatával(5.ábra), amelybe beépítésre került a hőkiegyenlítődési görbe meredekségét meghatározó algoritmus is az előző változattal(4.ábra) végzett mérések alapján csupán 9 mérési ciklus elvégzését tartottam szükségesnek. Ezek közül két mérési eredményre(8.ábra)(9.ábra) fektetnék nagyobb hangsúlyt, amelyek egyértelműen igazolják a hipotézisben felvetett elv működését, miszerint a hőkiegyenlítődési görbe meredeksége változik a mérendő test hőmérsékletének változásával.

A mérési eredmények egyike 37°C próbatest esetén készült, ekkor a hőkiegyenlítődési görbe program által meghatározott szakaszának meredeksége a vízszinteshez képest 53°, ezek az értékek a pirossal kiemelt részen olvashatóak le(8.ábra).



8.ábra: Mérési eredmény 37°C próbatest esetén

A kék háttérrel kiemelt részek(8.ábra) a program által meghatározott és vizsgált szakasz darabjait jelentik. Ezek alapján határozza meg görbéhez húzott érintő egyenes meredekségét.

A következő mérési eredmény 45°C próbatest esetén készült, ekkor a program által meghatározott szakasz meredeksége az érintőhöz képest 64° (9.ábra).



9.ábra: Mérési eredmény 45°C próbatest esetén

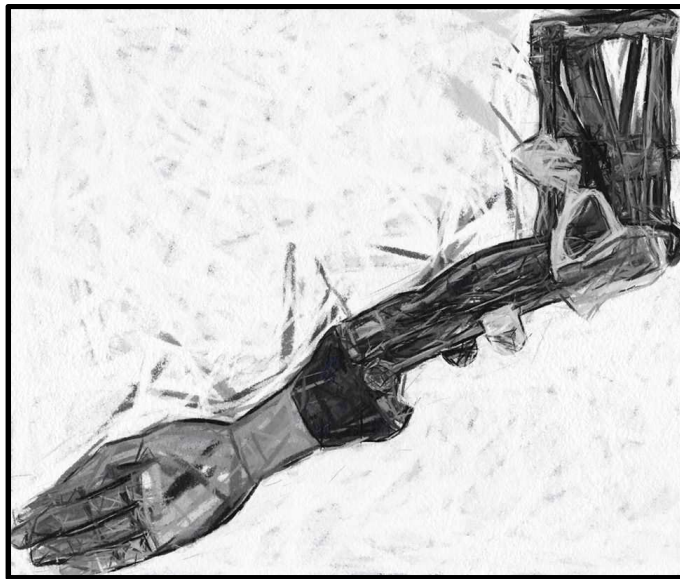
E két eredményből(8.ábra)(9.ábra) is jól látszik, hogy a hőkiegyenlítődési görbe meredeksége nagyban függ a mérendő test hőmérsékletétől.

Következtetésképp elmondhatjuk, hogy a hipotézisben felvetett elv működik, és ha a pontosság csak másodlagos szempont, akkor a módszer alkalmazható megfogható és nem megfogható tárgyak megkülönböztetésére, amely az elektronikus bőrt[7] az emberi bőrhöz hasonlóvá teszi mind hőérzékelés terén, mind pontosság, mind reakcióidő szempontjából.

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK

Az általam kidolgozott hőmérési módszert számos olyan helyen lehet alkalmazni, ahol a nagy pontosság nem elsődleges szempont, azonban a hőmérés gyorsasága és a kivitelezés költséghatékonysága fontos.

Ilyen helyek lehetnek például az antropomorf robotkarok[6], amelyek általános koncepciórajza látható(10.ábra).



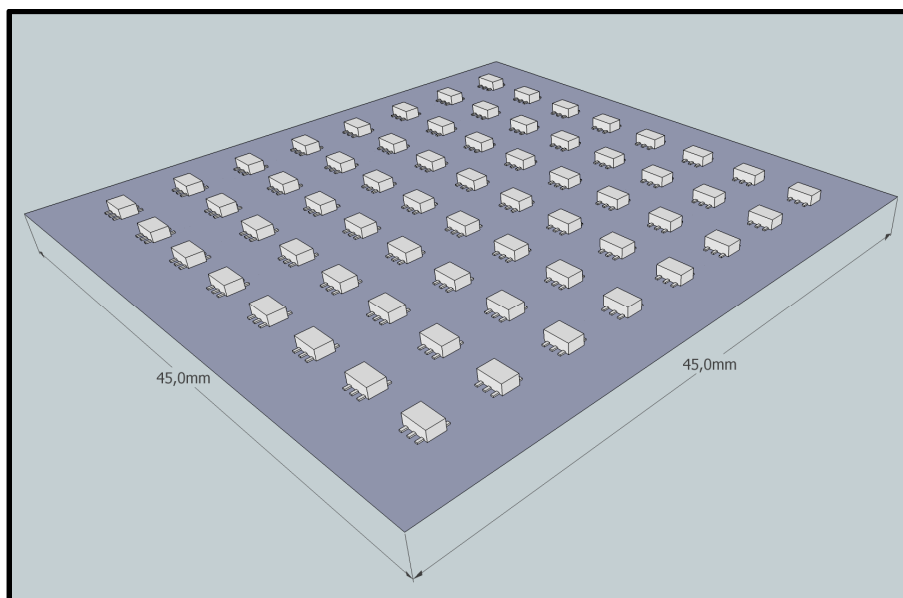
10.ábra: Antropomorf robotkar koncepció (Forrás:[1])

A flexibilis áramköri lapra[23] való megépítés előnye, hogy robotkaron[6] való alkalmazás esetén az áramköri lap a kar méreteinek megfelelő nagyságúra tervezhető és könnyen felszerelhető és rögzíthető. Továbbá a flexibilis áramköri lap[23] tulajdonságaiból adódóan hosszú üzemidőt tesz lehetővé, akár kis sugarú ívben való hajlítás esetén is, ugyanis ugyanez a technológia van alkalmazva a különböző számítástechnikai eszközök esetén is, mint például a digitális fényképezőgépek, csúsztható mobiltelefonok.

Egy másik, nagyon hasonló alkalmazási terület az a robot művégtagok esetén lenne[1], ahol az érzékelők a robotokkal szemben nem a vezérlőegységnek, hanem a művégtagot viselő személynek továbbítanák elektromos impulzusok formájában a művégtagot ért hőhatásokat. Ezáltal elkerülhető lenne a forró tárgyak megfogása, amely a művégtagot is károsítja, de figyelmetlenségből akár a művégtagot viselő személynek is égési sérüléseket okozhat.

Ahhoz, hogy megfelelően lehessen alkalmazni „elektronikus bőrként”[7], egy, több hőérzékelőből[13] álló rács kialakítása szükséges, amelyek flexibilis áramköri lapon[23]

vannak elhelyezve, így bőrszerűen viselkedne. Az első, nem prototípus kategóriába tartozó kialakítás koncepciója(11.ábra) egy 45x45mm-es darabra vonatkozik, amelyen nagy sűrűséggel van elhelyezve 64 darab hőérzékelő[13]. Ennek elkészültével lehetségessé válik teljes körűen tesztelni az érzékelés hatékonyságát, a mechanikai ellenállóságát és nem utolsó sorban, a pontosságát.



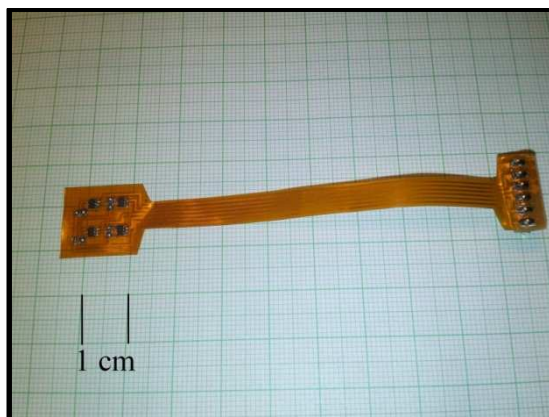
11.ábra: Elektronikus bőr koncepció

PROTOTÍPUS ELEKTRONIKUS BŐR KIVITELEZÉSE

A mérési eredményekből levont következtetés alapján, a hipotézisben felvetett elv működik, ezért egy, az általam javasolt hőmérési elv alapján működő, hőérzékeny elektronikus bőr[7] prototípusának a kivitelezését láttam jónak.

Prototípusdarabként a hőérzékelő felület(13.ábra) nagyságát lecsökkentettem, az érzékelők elosztásának felbontását 4 darab, 2x2-es rácsba elhelyezett érzékelőre határoztam meg. Ez elegendő a hőmérési elv gyakorlatban való működésének demonstrálásához, azonban egyidejűleg könnyű kivitelezni és az esetleges tervezési és gyártási hibákat könnyű javítani. A koncepcióban feltüntetett képpel ellentétben, a kivitelezett elektronikus bőrön az érzékelők sűrűsége kisebb a fentebb említett okok miatt.

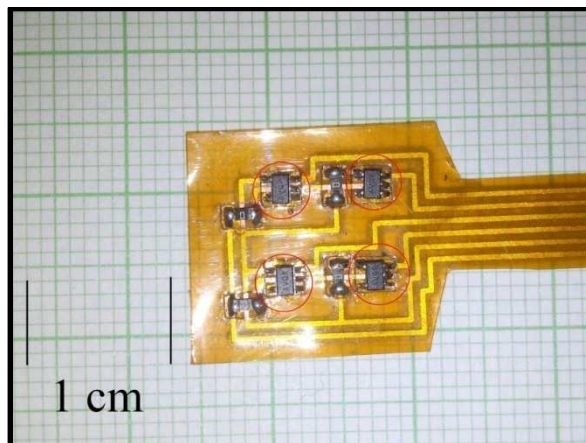
Az elkészült elektronikus bőr[7] prototípusa egy hőérzékeny felületből és csatlakozóból áll(12.ábra).



12.ábra: Elektronikus bőr prototípus

Baloldalon látható az érzékelőket tartalmazó felület, a jobboldalon az érzékelők csatlakozását megvalósító tüksor található(12.ábra).

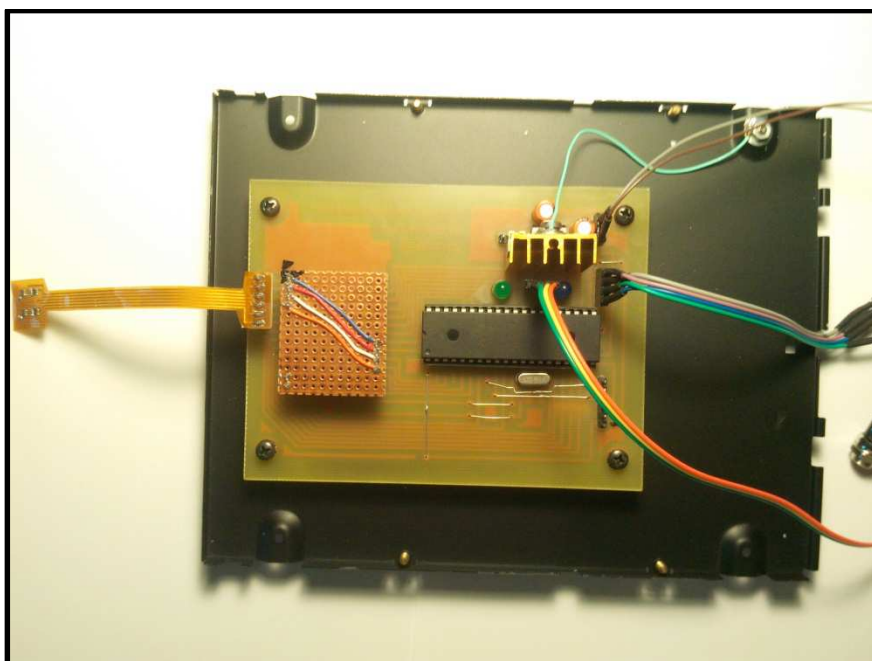
Az érzékelő felületen közelről jól látható az érzékelők[13] elhelyezése(13.ábra).



13.ábra: Elektronikus bőr érzékelő felülete

A mérőberendezéssel szemben(7.ábra), a prototípus esetén nem egy, hanem 4 darab érzékelőnek[13] a jelét kell valós időben mérni, továbbítani a számítógépnek és feldolgozni. Ennek a megvalósításához nagyobb sebességű és több csatornával rendelkező mikrovezérlőre[18] volt szükség, így esett a választás a dsPIC30F3014[25] típusra.

Az összeszerelt prototípus, a csatlakoztatott elektronikus bőrrel egy fémlapra került ráépítésre az elektromos zavarok csökkentése miatt(14.ábra).



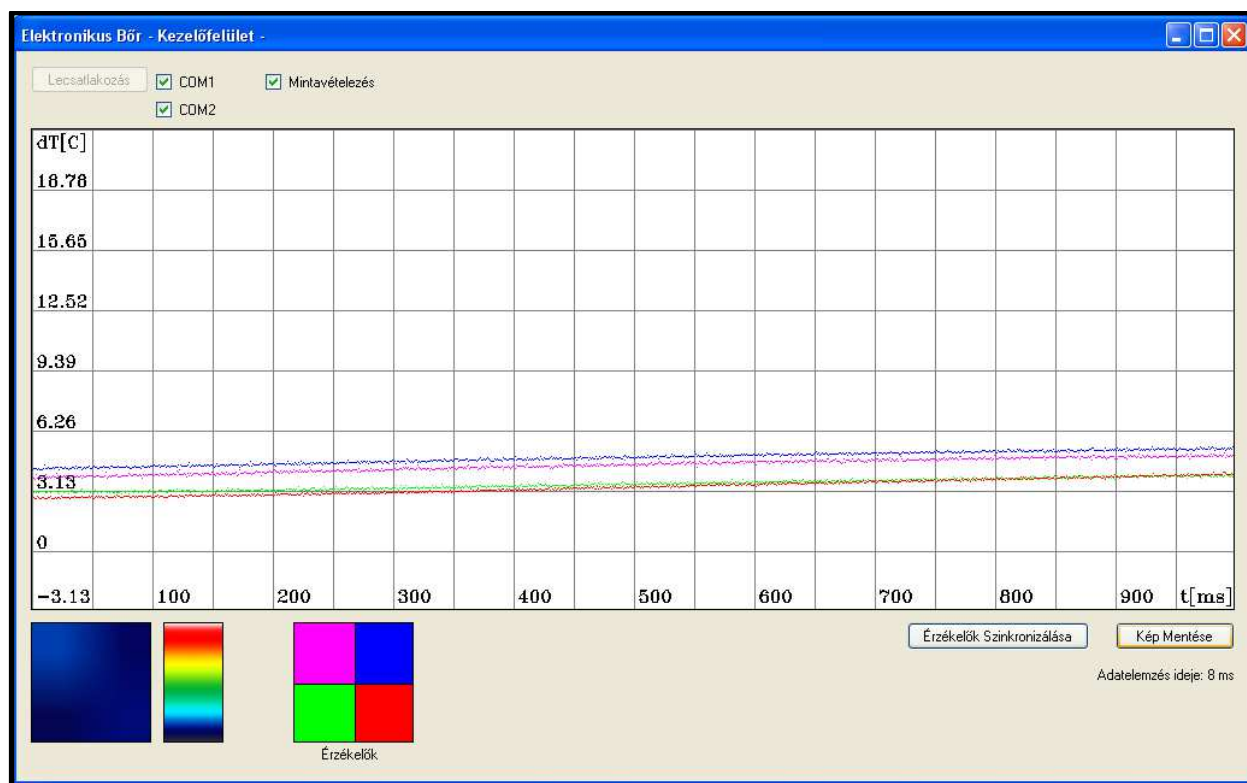
14.ábra: Összeszerelt elektronikus bőr és mérőegység

A számítógéppel való kommunikáció és adatátvitel valós időben kell megtörténjen, azonban a számítógépeken futó felhasználó közeli operációs rendszer nem valós idejű. Ennek

a hátránynak az áthidalása érdekében a kommunikációt két soros porton[16] keresztül valósítottam meg. Ennek előnye, hogy a számítógép, míg az egyik soros porton[16] fogadja az adatokat, addig a másik soros porton[16] már beérkezett adatokat kiolvassa, feldolgozza, majd hőmérséklet-információkat generál belőle.

Mivel a kezelőfelület a továbbiakban nem egy mérés irányítására szolgál(5.ábra), ezért ennek gyökeres újratervezésére volt szükség. Ennek ellenére a hőkiegyenlítődési görbe meredekségét meghatározó algoritmus alapja ugyanaz maradt, mint a mérőrendszer(7.ábra) esetén, csupán kisebb kalibrálások lettek elvégezve rajta.

Az áttervezett kezelőfelület 4 érzékelő[13] egyidejű adatának a megjelenítését valósítja meg(15.ábra).



15.ábra: Elektronikus bőr kezelőfelület

A kezelőfelületen (15.ábra), a 4 különböző helyen lévő érzékelőnek megfelel egy-egy szín. Az érzékelők helye és színkódja közötti összefüggést az „Érzékelők” felirattal ellátott négyzet hivatott reprezentálni. A bal alsó sarokban elhelyezkedő négyzet az elektronikus bőr[7] felületének megfelelő, négy pixel felbontású hőképe[26]. A grafikonon a négy érzékelő értékének változását reprezentáló görbék egyidejűleg kerül ábrázolásra, színekkel megkülönböztetve az érzékelőket.

A mérőrendszernél(7.ábra) alkalmazott 5 másodperces ciklusidő helyett, ebben az esetben a grafikon 1 másodpercnyi mérési időt ábrázol, a mintavételezés 1 milliszekundumonként történik. Az adatok továbbítása 250 mintavételt tartalmazó csomagokban történik, így a grafikon frissítésére(15.ábra) másodpercenként négyszer kerül alkalom és ezzel együtt az elektronikus bőr[7] prototípusának(14.ábra) reakcióideje 250 milliszekundum a legrosszabb esetben is, ami művégtagok[1] esetén az esetleges sérülések elkerülése érdekében megfelelőnek bizonyult.

A PROTOTÍPUS TOVÁBBFEJLESZTÉSE

Következtetésképp elmondhatjuk, hogy a prototípus(14.ábra) az elvárt feltételeknek megfelelően működik, reakcióideje elegendő az említett felhasználási területeken[1][6], továbbá a görbe meredekségét meghatározó algoritmus stabilan, hibás értékek generálása nélkül működik.

A prototípus(14.ábra) több szempontból továbbfejleszthető, mind reakcióidő csökkentése szempontjából, mind a koncepciótervben bemutatott(11.ábra), 64 érzékelőt[13] tartalmazó elektronikus bőr[7] minta elkészítésével, növelve az érzékelők[13] számát és sűrűségét. Ezáltal a hőmérési pontosság is javítható, mivel több érzékelő[13] értékének az átlagolását is lehetséges lenne megvalósítani.

Ezenfelül a felbontást tovább lehet növelni a két érzékelő[13] közötti rész hőmérsékletének kiszámításával, a környező érzékelők[13] értékeinek interpolálása[27] által.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Erdei Timotei István oktatónak, aki mind tanárként, mind barátként koordinálta dolgozatom és tanácsaival, javaslataival hozzájárult ennek létrehozásához.

ÁBRAJEGYZÉK

1.ábra: Hőmérséklet-idő összefüggése (Forrás: [12])	4
2.ábra: A hőkiegyenlítődési görbe a hőérzékelő esetén	5
3.ábra: MCP9701 hőérzékelő	7
4.ábra: Kezelőfelület első változata.....	9
5.ábra: Kezelőfelület második változata	10
6.ábra: A hőérzékelő felszerelve	11
7.ábra: Összeállított mérőberendezés	12
8.ábra: Mérési eredmény 37°C próbatest esetén	13
9.ábra: Mérési eredmény 45°C próbatest esetén	14
10.ábra: Antropomorf robotkar koncepció (Forrás:[1])	15
11.ábra: Elektronikus bőr koncepció	16
12.ábra: Elektronikus bőr prototípus	17
13.ábra: Elektronikus bőr érzékelő felülete.....	18
14.ábra: Összeszerelt elektronikus bőr és mérőegység	18
15.ábra: Elektronikus bőr kezelőfelület.....	20

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Pakistani Engineering students developed Robotic Arm {online}
<http://yousufrafi.wordpress.com/2010/06/19/pakistani-engineering-students-developed-robotic-arm/#more-60> (Hivatkozva: 2014.09.24., 18:42)
- [2] ALARIS MEDICAL SYSTEMS, INC. *Predictive temperature measurement system*, Inventors: Robert J. Siefert, *United States Patent Grant*, US 09/313,911. 2001-08-07.
- [3] Sarah Yang: Paper-thin e-skin responds to touch, holds promise for sensory robotics and interactive environments {online} http://newscenter.berkeley.edu/2013/07/21/first-interactive-e-skin-built-on-plastic/?utm_source=buffer&utm_campaign=Buffer&utm_content=buffer4eca6&utm_medium=facebook (Hivatkozva: 2014.09.24., 22:35)
- [4] Humanoid robot, In: Sensors {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Humanoid_robot (Hivatkozva: 2014.10.17., 15:48)
- [5] Mechatronics, In: Description {online} <http://en.wikipedia.org/wiki/Mechatronics> (Hivatkozva: 2014.11.23., 20:13)
- [6] Zhe Xu, Vikash Kuma, Emanuel Todorov: A Low-cost and Modular, 20-DOF Anthropomorphic Robotic Hand: Design, Actuation and Modeling, In: I. Introduction {online}
<http://homes.cs.washington.edu/~vikash/Projects/Finger/AnthromorphicRoboticHand%28humanoids13%29.pdf> (Hivatkozva: 2014.08.14., 23:50)
- [7] Electronic skin {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_skin (Hivatkozva: 2013.10.04., 18:22)
- [8] Robots equipped with tactile sensor better able to identify materials through touch than humans, enabling more lifelike prosthetics {online}
<http://viterbi.usc.edu/news/news/2012/robots-get-a.htm> (Hivatkozva: 2013.11.02., 19:40)
- [9] Barroeta Pérez, Gerardo: S.N.A.K.E. : a dynamically reconfigurable Artificial Sensate Skin {online} <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/37403#files-area> (Hivatkozva: 2013.09.11., 19:46)
- [10] Temperature measurement, In: Technologies {online}
http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature_measurement (Hivatkozva: 2014.11.23., 22:55)
- [11] Infrared thermometer {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_thermometer (Hivatkozva: 2014.11.23., 23:16)
- [12] Time Constant of Temperature Sensors, In: Theory {online}
<http://rpaulsingh.com/learning/virtual/experiments/timeconstant/index.html> (Hivatkozva: 2014.11.24., 01:08)
- [13] Microchip MCP9701 Linear Active Thermistor {online}
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP9701> (Hivatkozva: 2013.08.15., 17:33)

- [14] Microchip MCP9808 digital temperature sensor {online}
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=MCP9808>
(Hivatkozva: 2013.08.15., 19:39)
- [15] Microchip dsPIC33FJXXXGPX06/X08/X10 Data Sheet, High-Performance, 16-Bit Digital Signal Controllers {online}
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70286C.pdf> (Hivatkozva: 2013.08.19., 14:05)
- [16] Serial port {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_port (Hivatkozva: 2014.10.21., 21:49)
- [17] Analog-to-digital converter {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter (Hivatkozva: 2014.10.21., 23:57)
- [18] Microcontroller {online} <http://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller> (Hivatkozva: 2014.10.22., 00:30)
- [19] MPLAB® X Integrated Development Environment (IDE) {online}
<http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/> (Hivatkozva: 2014.11.24., 11:36)
- [20] PICkit™ 2 Debug Express {online}
<http://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=DV164121> (Hivatkozva: 2014.11.24., 15:24)
- [21] Visual Studio {online} <http://www.visualstudio.com/> (Hivatkozva: 2014.11.24., 19:30)
- [22] C Sharp (programming language) {online}
http://en.wikipedia.org/wiki/C_Sharp_%28programming_language%29 (Hivatkozva: 2014.11.24., 21:15)
- [23] Flexible electronics {online} http://en.wikipedia.org/wiki/Flexible_electronics
(Hivatkozva: 2014.09.30., 14:20)
- [24] TowerPro Servos {online} <http://www.servodatabase.com/servos/towerpro>
(Hivatkozva: 2014.09.30., 16:42)
- [25] Microchip dsPIC30F3014/4013 Data Sheet, High-Performance, 16-bit Digital Signal Controllers {online} <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70138G.pdf>
(Hivatkozva: 2014.02.14., 21:17)
- [26] Thermography {online} <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermography> (Hivatkozva: 2014.10.21., 00:19)
- [27] Interpolation {online} <http://en.wikipedia.org/wiki/Interpolation> (Hivatkozva: 2014.11.12., 23:47)