

Simon Says module met printbare electronica

Industrial Engineering Students Electronics/ICT at the University of Hasselt
 Stijn Boutsen, Stef Wynants, Robin Fripon, Jeroen Timmermans, Thomas Aerts, Willem Geerts,
 Henning Lakiere

Abstract— Ter presentatie van onderzochte technologieën werd voor IMO (Instituut voor Materiaal Onderzoek) een demo-module gemaakt. Het toestel is een Simon Says spelletje dat interactie mogelijk maakt. Met behulp van printbare elektronica kunnen sensoren ontworpen voor diverse doeleinden. Het eindresultaat zal ontwerpen tonen om grootheden als vochtigheid, intensiteit en afstand te meten. Visuele feedback wordt gepresenteerd met behulp van OLEDs of plexiglas.

Index Terms— Capacitive sensing, OLED, Printable electronics

I. INLEIDING

Voor het Instituut van materiaal onderzoek (IMO) werd een demonstrator ontwikkeld ter presentatie van onderzochte technologieën. Het toestel is een Simon Says spelmodule uitgerust met capacitieve drukknoppen, slider en vochtigheidssensor. Gegraveerde plexiglas plaatjes lichten op om informatie te presenteren aan de gebruiker.

De vochtsensor vervult de functie van een timer. Het toestel schakelt in wanneer er water op de sensor wordt aangebracht. Na een tijdje is een deel van het vocht verdampt waardoor het toestel terug uitschakelt.

Door plexiglas te graveren en met LEDs aan de zijkanten te schijnen kunnen doorschijnende oppervlakken oplichten. Gecombineerd met capacitieve vlakken kunnen deze oplichtende plaatjes aanraking detecteren. Dit leidt tot een robuust bedieningspaneel met visuele feedback.

Als microcontroller is een ATMEGA microcontroller gebruikt op een Arduino Pro Mini. Deze is geladen met de Arduino bootloader. Om capacitieve aanraakdetectie te doen werd de capacitieve sensor bibliotheek gebruikt. Voor de vochtsensor werd de code van een capaciteitsmeter aangepast voor eigen gebruik. Het volledige programma is terug te vinden op <https://github.com/Boutsman/SimonSays>

II. MATERIALEN EN METHODEN

A. Finite state machine

De code van het Simon Says programma bestaat uit een Mealy fsm. Deze bevat 3 toestanden. Fig. 1 toont het bijhorende toestandsdiagram met de overgangen.

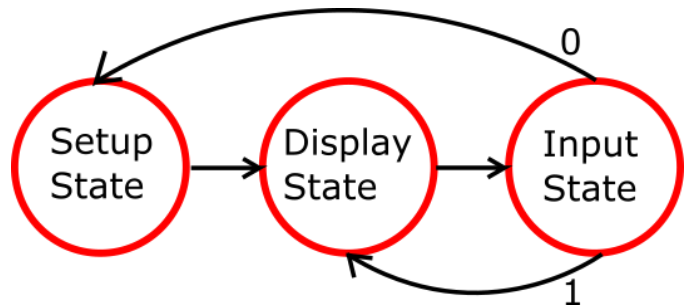


Fig. 1 - FSM toestanddiagram

De eerste toestand maakt een array aan met 100 random gegenereerde waarden en kondigt de volgende toestand aan. De tweede toestand laat het nodige aantal opgeslagen waarden zien aan de user en leidt ook de volgende toestand in. De derde toestand registreert de user-input en vergelijkt die met de opgeslagen array. Indien de ingegeven sequentie klopt dan begint de volgende ronde in toestand 2. Komen de arrays niet overeen dan wordt er naar de eerste state gegaan waardoor het spel herstart met een nieuwe omgekende getallenreeks.

B. Capacitieve touch sensor

Wanneer een lading op een ingangspin van een microcontroller wordt gezet duurt het even voordat een bepaalde spanning bereikt wordt. Dit is omdat iedere ingang een ingangscapaciteit heeft. Deze zal voor $2/3e$ opgeladen zijn na een periode $\tau = R \cdot C$ (Fig. 2).

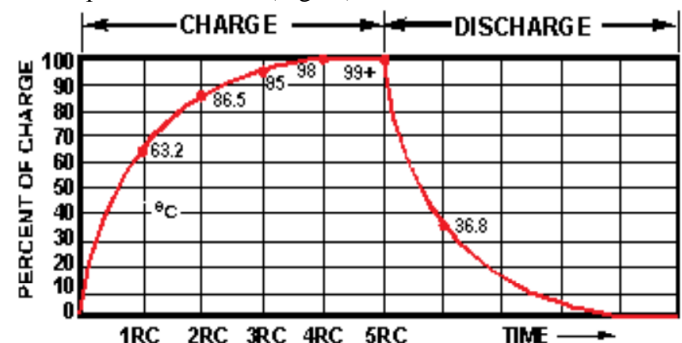


Fig. 2 - Laadcyclus van een RC-netwerk

Bij aanraking van de ingangspin zal het lichaam een extra capaciteit vormen (Fig. 3). Deze parasitaire capaciteit staat parallel met de ingangscapaciteit waardoor de totale capaciteit en dus τ verandert [1]. Het zal meer lading vergen en dus langer duren voor een bepaalde spanning bereikt is. Dit tijdsverschil kan gedetecteerd worden door het aantal cyclussen van de microcontroller te tellen tot de gewenste spanning bereikt is.

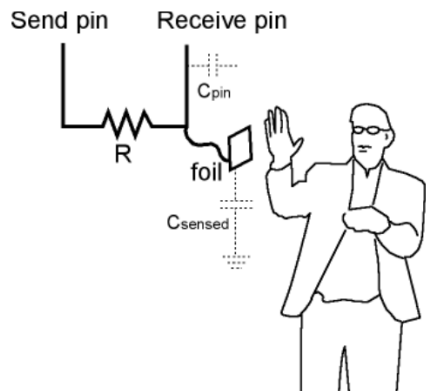


Fig. 3 - Principe van capacitive sensing

C. Intensiteitssensor/slider

De intensiteitssensor is opgebouwd uit vijf elektrisch geïsoleerde vakken die elk fungeren als capacitieve sensor. Door het getande ontwerp in Fig. 4 waarbij ieder vak overloopt in het volgende is het mogelijk om ook ‘tussen’ twee opeenvolgende vlakken een waarde uit te lezen. Hierdoor kan er niet alleen op de afzonderlijke vlakken een aanraking gedetecteerd worden, maar ook de overgang tussen twee vlakken wanneer dezen gelijktijdig worden aangeraakt [2]. Dit zorgt ervoor dat met behulp van interpolatie de slider geen vijf, maar negen discrete meetpunten heeft.

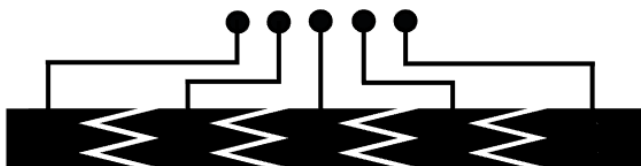


Fig. 4 - Intensiteitssensor

De uitgelezen waarde bepaalt de lichtsterkte van de LEDs. Deze intensiteit wordt geregeld met een PWM-signaal, waarbij de waarde nul overeenkomt met geen intensiteit (LED uit) en de waarde 255 met een maximale intensiteit. Door het bereik van 256 te delen door het aantal discrete meetpunten van de slider, blijkt dat de intensiteit van de LEDs gewijzigd kan worden in stappen van $256/9 = 28,44$. Een dergelijke stap zorgt voor een subtiele verandering in intensiteit, die met het blote oog nauwelijks kan worden opgemerkt. Dit wekt de illusie dat bij opeenvolgende stappen de LED geleidelijk aan helderder of donkerder wordt.

D. Vochtigheidssensor

Voor deze sensor is uitgegaan van een condensator [3]. Op PET werden 2 geïsoleerde contacten afgezet. Door het design, te zien op Fig. 5, kan toch een groot geleidend oppervlak gemaakt worden worden.

In droge toestand bestaat het diëlektricum uit PET en lucht. Daar water een grotere diëlektrische constante heeft zal de capaciteit stijgen bij aanwezigheid van vocht.

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

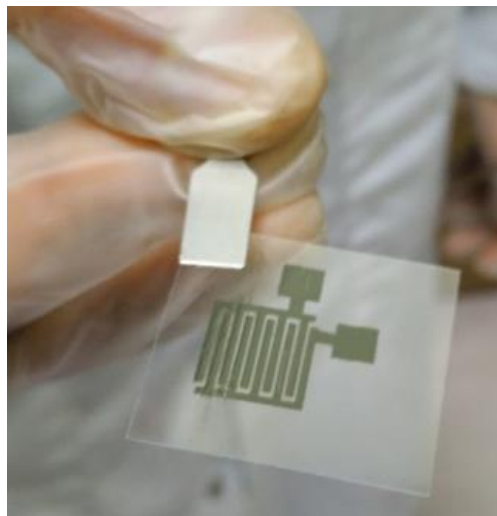


Fig. 5 - Vochtsensor

E. Oplichtend Plexiglas

Met behulp van reflectie kan een lichtsignaal door een glasvezel-kabel gestuurd worden zoals geïllustreerd in Fig. 6. Dit principe kan ook worden toegepast op een doorschijnend oppervlak zoals een plaat plexiglas. Indien deze plaat een gegraveerd motief bevat zal de tekening een deel van het licht absorberen en dus oplichten zoals in Fig. 7.

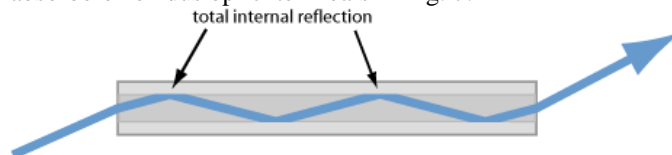


Fig. 6 - Refractie in glasvezel

Een voordeel van deze techniek is dat er grote oppervlakken kunnen verlicht worden. Tevens lopen er geen stromen of geleidende baantjes door de plaat die kunnen interfereren met de capacitieve knoppen.

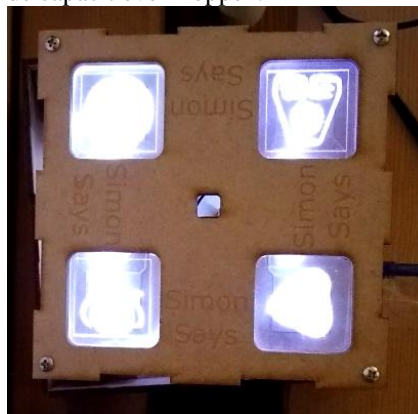


Fig. 7 - Oplichtend plexiglas

F. OLED

Een typische OLED (Fig. 8) bestaat uit een laag van organisch materiaal dat zich bevindt tussen twee elektroden, de anode en kathode, afgezet op een substraat. De organische moleculen zijn elektrisch geleidend ten gevolge van delocalisatie van pi-elektronen veroorzaakt door conjugatie van het molecuul. Deze materialen hebben een geleidingsvermogen variërend van isolatoren tot geleiders en worden daarom organische

halfgeleiders genoemd. De hoogste bezette en de laagste onbezette moleculaire orbitalen (HOMO en LUMO, wat staat voor highest occupied molecular orbital en lowest unoccupied molecular orbital) van organische halfgeleiders komen overeen met de valentie- en geleidingband van anorganische halfgeleiders. [4]

Indium tin oxide (ITO) wordt gewoonlijk gebruikt als het anodemateriaal. Het is transparant voor zichtbaar licht en heeft een hoge werkfunctie die injectie van gaten bevordert. Een typische geleidende laag kan bestaan uit PEDOT:PSS (poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate). Het HOMO niveau van dit materiaal ligt in het algemeen tussen de werkfunctie van ITO en de HOMO van andere gewoonlijk gebruikte polymeren.

Metalen zoals barium en calcium worden vaak gebruikt voor de kathode omdat ze lage werkfuncties hebben, die injectie van elektronen in de LUMO van de organische laag bevorderen. Dergelijke metalen zijn reactief, zodat ze een deklaag van een ander materiaal vereisen om degradatie voorkomen, meestal is dit materiaal aluminium.

Tijdens de werking wordt een spanning aangelegd over de OLED zodanig dat de anode positief is ten opzichte van de kathode. Anoden worden gekozen op basis van de kwaliteit van de optische transparantie, elektrische geleidbaarheid en chemische stabiliteit. Een stroom van elektronen stroomt van kathode naar anode als elektronen die geïnjecteerd worden in de LUMO van de organische laag aan de kathode en aan de HOMO van het anode onttrokken worden. Deze laatste werkwijze kan ook worden beschreven als de injectie van elektronen in de gaten in het HOMO. Elektrostatiche krachten brengen de elektronen en de gaten naar elkaar en zij recombineren. Hierbij wordt een exciton gevormd, een gebonden toestand van een elektron en een gat. Dit gebeurt dicht bij de emitterende laag, omdat bij organische halfgeleiders gaten algemeen mobieler zijn dan elektronen. Het verval van de aangeslagen toestand leidt tot een ontspanning van de energieniveaus van de elektronen, vergezeld door emissie van straling waarvan de frequentie in het zichtbare gebied. De frequentie van deze straling is afhankelijk van de band gap van het materiaal, in dit geval het verschil in energie tussen de HOMO en LUMO. [5]

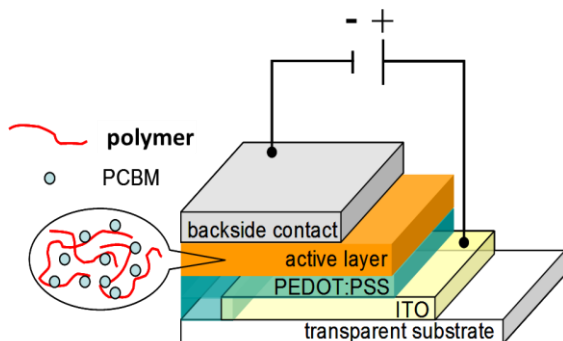


Fig. 8 – constructie van een OLED

Om de lichtintensiteit te kunnen regelen wordt de OLED aangestuurd met PWM. Ook deze component heeft een eigen capaciteit waarvan met behulp van het PWM signaal de

laadcyclus gemeten kan worden. Aanraking zal ook hier een verandering van τ teweeg brengen.

III. RESULTATEN

A. Capacitieve drukknoppen

Op PET werden geleidende oppervlakken van 2x2cm geprint. In combinatie met weerstanden van 1M Ω kon aanraking gedetecteerd worden door een 3 mm dikke laag plexi. Daar er geen stroom over het geleidend oppervlak moet vloeien bij oplichten van de plastic plaat heeft deze verlichting geen invloed op de metingen. Fig. 9 toont het afgewerkte bedieningspaneel.

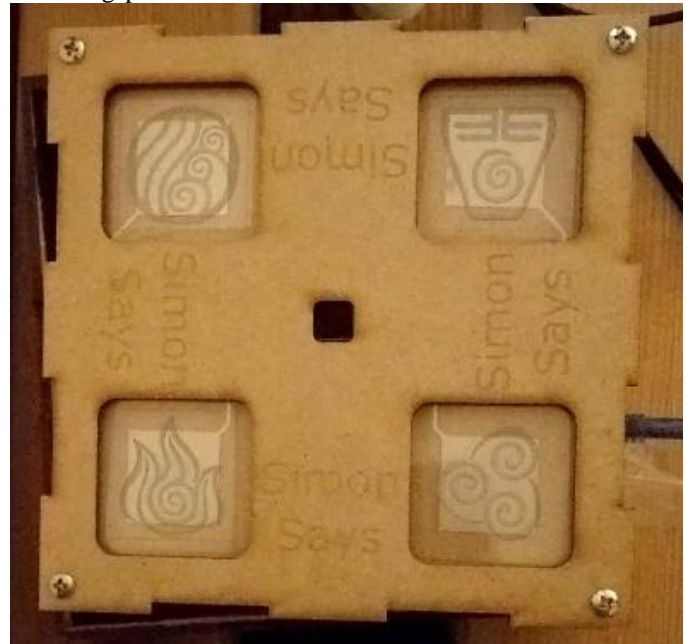


Fig. 9 - Bovenplaat met plexi en sensoren

B. Intensiteitssensor/slider

Met dit ontwerp werd een functionele slider bekomen. Bij aanraking van individuele contacten wordt de corresponderende waarde doorgegeven. Op deze manier konden de LEDs real-time gedimd worden.

Het overlappingsgebied blijkt klein te zijn waardoor de geïnterpoleerde waarden een veel kleiner sensorgebied bestrijken dan de grootte van de contacten. Een voorstel om dit te verbeteren is om de tanden langer te maken om het gebied te vergroten waarin men 2 sensoren aanraakt. Een ander voorstel is om dit te combineren met meer maar smallere driehoeken zodat de sensoren makkelijker tegelijk worden aangeraakt.

De posities van de slider werden absoluut gecodeerd. Een mogelijke uitbreiding zou zijn om de sensor relatief te coderen. Dit geeft een functionaliteit vergelijkbaar met het scrollwiel van een muis.

C. Vochtigheidssensor

In droge toestand werd er een capaciteit gemeten van gemiddeld 3.2pF. Door toevoegen van 10ml water aan het absorberend papier steeg de gemiddelde capaciteit naar 4.2pF.

Bij opdrijven van de vochtigheid tot 20ml water steeg de gemeten waarden verder tot gemiddeld 5.4pF. Door met absorberend papier de vochtigheid te verminderen daalde de capaciteit geleidelijk tot de beginwaarden terug werden gepresenteerd toen de sensor droog was. De meetwaarden worden met behulp van Matlab grafisch voorgesteld in Fig. 10.

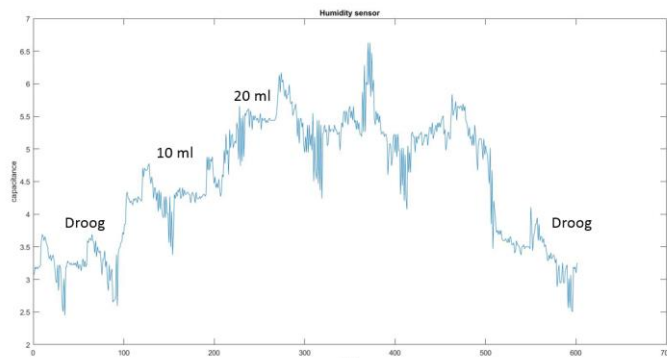


Fig. 10 - Vochtsensor: aanbrengen van 20ml water + drogen

Het signaal in Fig. 10 toont dat er periodieke ruis aanwezig is. Deze storing kan men weg filteren. Het functieverloop toont aan dat de capaciteit in functie is van de hoeveelheid vocht. Hoe vochtiger, hoe hoger de capaciteit. Dit komt overeen met de gestelde verwachtingen.

Bij opeenvolgende metingen werd een verandering van de capaciteit in rust waargenomen. Dit geeft nood aan een goede kalibratie bij het starten van het toestel.

Literatuurstudie toont aan dat deze vorm van sensor niet gewenst is. De vingerstructuur geeft aanleiding tot een slechte SNR. Een minder complexe vorm zou een beter resultaat geven. [6]

D. OLED

De OLEDs werden aangesloten op 5V en de stromen gemeten. Tabel 1 toont aan dat het stroomverbruik veel verschilt. Om een constante stroom te leveren zal iedere OLED-driver apart gedimensioneerd moeten worden. Door het hoge stroomverbruik (+500 mA) na implementatie van de OLED's is het af te raden deze te voeden via USB. Deze hoge stroomwaarden kunnen namelijk niet door alle typen USB poorten geleverd worden, en kunnen mogelijk de laptop waarop ze worden aangesloten beschadigen.

Tabel 1 - Stroom door gekleurde OLED bij 5V (gemeten in ampere)

Geel	0.103
Groen	0.25
Blauw	0.05
Rood	0.134

Door vertraagde levering van de OLEDs kon aanraakdetectie niet meer geïmplementeerd worden. Bij ontvangst bleken de opgegeven afmetingen niet te kloppen. Hierom pasten de

LEDs niet in de voorziene case. Dit komt omdat de OLEDs met de hand vervaardigd zijn. Omwille van tijdsbestek werd besloten de OLEDs niet te implementeren in de eerste module.

IV. DISCUSSIE

Door aanraking doorheen oppervlakken te gebruiken zijn bedieningspanelen resistent voor stof, vuil en vocht. Dit leent tot robuuste toestellen die bruikbaar zijn in extreme omgevingen.

Door sensoren te printen konden er vlug nodige verbeteringen aan de designs worden aangebracht. Door eliminatie van een extern productiehuis werd de tijd om tot een werkend prototype te komen drastisch verminderd. Deze winst in tijd kan een startende onderneming veel geld besparen.

Spijtig genoeg is de samenstelling van beschikbare inkt verschillend van elkaar. Dit heeft een grote invloed op de kwaliteit van het geprinte design. Dit geeft aan dat er nood is aan een standaard. Niet alleen zou dit het prototyping vergemakkelijken, een goede standaard leent ook tot de ontwikkeling van functionele toestellen voor de doe-het-zelf markt.

Indien de technologie geoptimaliseerd wordt kan met behulp van roll-to-roll printing een grote hoeveelheid sensoren geprint worden op flexibel substraat. Dit zou het mogelijk maken om goedkope sensoren te kunnen aanbieden

V. CONCLUSIE

Door geleidende inkt af te zetten op een substraat van PET werden sensoren geproduceerd die grootheden capacitef meten. Hierdoor werden dunne, flexibele prototypes bekomen. Dit maakt ze geschikt om in stickervorm op oppervlakken gekleefd te worden of tussen oppervlakken te panelen.

Door de geleidende lagen af te schermen kan beschadiging voorkomen worden. Dit is vooral belangrijk bij de vochtsensor. Door afscherming van lucht en vocht kan corrosie voorkomen worden.

De intensiteitssensor leid tot een bruikbaar alternatief voor bestaande volumesliders in mp3 spelers zoals de iPod. Door relatieve codering kan zo met een klein aantal oppervlakken de verplaatsingsrichting en snelheid gedetecteerd worden. Dit maakt het mogelijk om door het volume of playlist te “sweepen” zoals met een smartphone.

VI. REFERENCE

[1] Paul Badeger. Capacitive sensing library. Retrieved from <http://lcweb2.loc.gov/cgi-in/query/r?>

[2] Texas Instruments, “Capacitive Touch Sensing - MSP430 Slider and Wheel Tuning Guide,” no. January, pp. 1–18, 2013.

[3] Atmel, “Atmel - Touch Sensors Design Guide,” p. 78.

[4] Doust, Alexander. "Polymer OLED Materials and Device Operation." *Cambridge Display Technology*. 2011

[5] Brennan F., Kevin. "Introduction to Semiconductor Devices : For computing and Telecommunications applications." *Cambridge University Press*. 2005

[6] H. Gu and C. S. Msp, "Capacitive Touch Hardware Design Guide," no. May, pp. 1–24, 2013