

RESUMEN

Large Area Tactile Sensors for Smart Surfaces

Juan Miguel Andújar Morgado

Kaiserslautern - 5 de octubre de 2011

Los sensores táctiles son empleados en muchos campos actualmente, por ejemplo en manos robóticas para detectar diferentes texturas, deslizamientos y contacto, en dispositivos médicos como detección de cáncer de mama, también como artificial skin en robot, así ellos pueden interactuar con el ambiente o con humanos.

En este proyecto se presenta un táctil sensor para cubrir grandes áreas, hay diferentes tecnologías para llevarlo a cabo. Las más importantes son: piezoresistencia, se basa en el cambio de resistencia cuando un material está sujeto a deformaciones, capacitancia, estos sensores se basan en el cambio de la capacitancia, por ejemplo si existen dos placas horizontales y entre ellos se sitúa un dieléctrico como el aire, y el plato superior es presionado, la capacitancia cambia y esta puede ser medida. Tecnología magnética, esta se basa en materiales que son capaces de producir pequeñas partículas magnéticas cuando están sujetos a deformación, tecnología piezoresistiva se basa en aquellos materiales que producen electricidad cuando están sujetos a deformación. Existen otras tecnologías como ópticas o fibras ópticas pero este tipo de tecnología no están aplicadas para cubrir grandes áreas.

Las principales tecnologías para cubrir grandes áreas suelen ser la piezoresistividad y la capacitancia, aunque existen unos pocos que utilizan piezoresistividad.

Los actuales sensores táctiles para cubrir grandes áreas basado en piezoresistividad utilizan método "clásico" para medir la caída de tensión en los elementos. Así el consumo es elevado ya que utilizan un gran número de elementos. Otra desventaja es, cuando el consumo es bajo la tecnología implementada suele ser bastante complicada de fabricar y llevar a cabo.

En este proyecto se ha considerado utilizar la tecnología piezoresistiva porque son sensores fáciles de construir y fabricar, ya que sólo necesitan una PCB, donde se depositan los electrodos, un material piezoresistivo y un sistema electrónico para medir la caída de tensión en la resistencia. Además suelen ser baratos, robustos y bastante fiables. Como sólo es necesario medir la caída de una resistencia, el circuito de medida suele ser sencillo. Tienen más baja sensibilidad al ruido que otras tecnologías como los sensores capacitivos. Y por último estos sensores son capaces de conseguir alta frecuencia de medición y medidas estáticas.

Una de las partes más importantes de los sensores táctiles, basados en piezoresistividad, es el material conductor utilizado. El material conductor es un material piezoresistivo. El material conductor está compuesto por material no conductor y por partículas o fibras como grafito, carbón o pequeñas partículas metálicas. El uso común de los materiales conductores son: escudo de interferencia electromagnética, protección frente a descargas eléctricas y para almacenar productos eléctricos para protegerlos frente a descargas EMI. Así, los materiales conductores no están diseñados para tener buenas propiedades para un sensor basado en piezoresistencia, por lo que se debe prestar especial atención en la elección del mismo.

La teoría de percolación es relevante para explicar el principio de funcionamiento de los materiales conductores, así un cierto porcentaje de volumen de este material es conductor

y el resto no. Un material conductor es en realidad una red de resistencias, que cambia cuando el material es presionado. La teoría de la percolación describe que volumen es necesario para conseguir un camino conductor. Este volumen es el límite de percolación. Por debajo de este límite, no hay conductividad. Por encima, la conductividad aumenta cuando el número de cadenas conductoras aumenta por lo que la red de resistencias llega a ser más densa. Es decir, la teoría de percolación puede ser explicado como, cuando el material conductor no es presionado, se comporta como un aislador, es decir, las partículas están uniformemente distribuidas a lo largo del material sin contacto entre ellos. Sin embargo, cuando una presión se aplica, las partículas de carbón se aproximan y su resistencia eléctrica se reduce significativamente, así la resistencia decrece con la fuerza aplicada.

La electroresistencia está bien adaptada para sensores de presión, porque permite sensores simples y con una estructura robusta. El sensor por sí solo, necesita un material conductor y un array de electrodos. La electrónica empleada puede ser bastante simple, ya que solo tiene que ser medida una única resistencia. Así el principio de medida puede ser de bajo coste, flexible, sensible y robusto. La principal desventaja de estos sensores es la relajación, histéresis y respuesta no lineal. Debido a estos problemas, la elastoresistencia no puede proporcionar una precisión absoluta. Los sensores requieren una especial atención, el contacto entre el material y la superficie debe de ser lo más baja posible. Con el fin de prevenir la oxidación, es necesario cubrir los electrodos con especiales materiales como el oro.

Comunmente, la construcción de los elementos sensores se hacen situando ambos electrodos en el mismo lado del material conductor, eliminando los problemas de fatiga. Esta organización presenta una construcción fácil de los sensores táctiles, añadiendo electrodos horizontalmente y verticalmente. Hay otros tipos de elementos sensores, por ejemplo, situado sobre los lados del material conductor, donde la fuerza se aplica sobre los electrodos superior directamente. Este contacto causa algunos problemas, ya que el electrodo debe ser flexible, así está expuesto a deformación, reduciendo el tiempo de vida del sensor.

El principio de funcionamiento del sensor está basado en el área de contacto. Si una presión se aplica sobre la espuma, la superficie rugosa del material conductor es presionado sobre la superficie del electrodo. Esta presión involucra un incremento del área de contacto, logrando así un cambio en la resistencia entre los electrodos y el material, esto conlleva un decrecimiento de la resistencia. La resistencia de contacto puede ser descrita por:

$$R_c \propto \frac{\rho}{F} K$$

donde R_c es la resistencia total de contacto, ρ es la resistencia entre el material y el electrodo, F es la fuerza aplicada y K es una función de la rugosidad y las propiedades del interface entre ambos. Así, es posible obtener la relación entre la presión aplicada y la resistencia en el interface como la suma de sus resistencias:

$$R(F) = R_{inn} + R_{out} + R_{vol}$$

donde R_{inn} es la resistencia en el interface en el área interior, R_{out} es la resistencia en el

interface en el area exterior y R_{vol} es la resistencia en el camino entre el electrodo interior y exterior.

Electrónica

El sistema electronico es una parte muy importante del sensor. El circuito tiene que leer una gran cantidad de elementos sensitivos, y tomar las propiedades del sensor a tener en cuenta. La electronica reduce el numero de vias y minimiza el nivel de ruido, crosstalk y el tiempo de respuesta. Especialmente para sensores con una gran cantidad de elementos, el tiempo de lectura para un simple elemento, tiene que ser corto con el fin de alcanzar un aceptable tiempo para medir el sensor completo.

Aqui se propone varios metodos para medir multiples elementos de identico comportamiento en un formato NxM, donde diferentes problemas pueden surgir con esta topologia. La interconexion entre electrodos son usadas en fila-columna con todos los sensores tienen una de sus terminaciones conectadas a una columna y la otra a una fila.

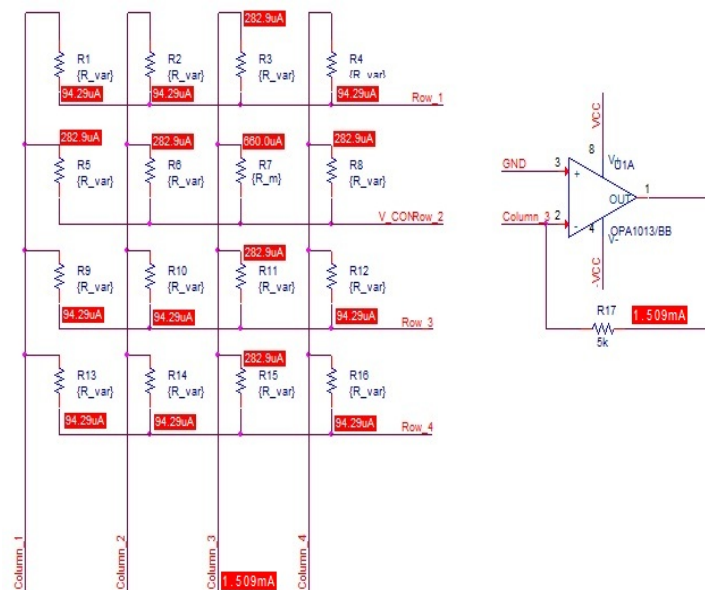


Figura 1: shows crosstalk effect between adjacent elements.

Una de los mayores problemas en el uso de esta topologia es el efecto crosstalk entre los elementos adyacentes, esto ocurre cuanto mas grande es el sensor con el formato aplicado, que cambiara el valor de la resistencia medida cuando se trata de medir el voltaje correspondiente al elementos sensor.

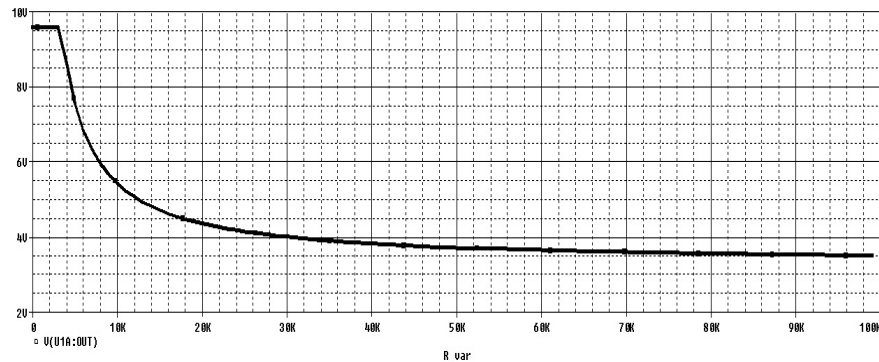


Figura 2: :shows the drop voltage in R_m when the surrounding resistance change.

Para eliminar o reducir el efecto crosstalk existen diferentes metodos, estos han sido extensamente tratados en la literatura a partir de diferentes puntos de vista, los mas importantes son:

- Method based on the zero potential.
- Method based on the voltage feedback.
- Method employed Analog/Digital converters on the column lines

Method based on the zero potential

El objetivo de este método es obtener una zona de potencial con el mismo voltaje para eliminar el efecto crosstalk. En este método un voltaje es aplicado a la fila seleccionada, y las otras filas son conectadas a to zero voltage. Para seleccionar la columna es normalmente conectada a la entrada negativa del amplificador operacional y las otras son conectadas a una masa virtual. Existen diferentes circuitos para lograr este método. En la figura de abajo se muestra el típico circuito, esta formado por un microcontrolador, multiplexores y varios amplificadores operacionales. El funcionamiento del circuito es simple, cuando un fila es seleccionada, las otras son conectadas a bajo nivel con el puerto de salida del microcontrolador. Para seleccionar la columna, una configuración de multiplexores es utilizada para recibir los datos de salida de cada sensor. Un voltaje constante es suministrado, y el cambio de corriente fluyendo a través de la resistencia puede ser detectada por el conversor corriente-voltaje, después el voltaje escaneado del sensor táctil son transferidos a un ADC del microcontrolado. En la siguiente figura se presente este sistema:

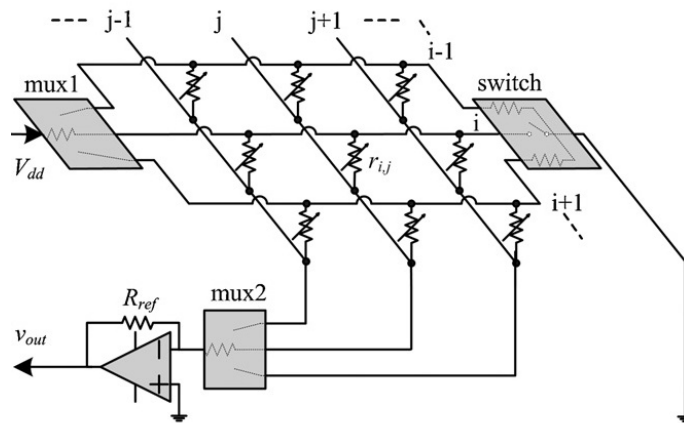


Figura 3: Circuito based on zero potential method.

El principal problema para estos métodos es el uso de muchos integrados y cuando una columna es seleccionada, todos los elementos sobre esa fila están activados. Cuando este tipo de electrónica es utilizada para cubrir grandes áreas el consumo suele ser muy alto, lo cual hace que los sensores táctiles basados en piezorresistivos no sean muy empleados en este tipo de enfoque. En este proyecto se presenta un nuevo sistema de medida inspirado en la electrónica usada en las cámaras CMOS.

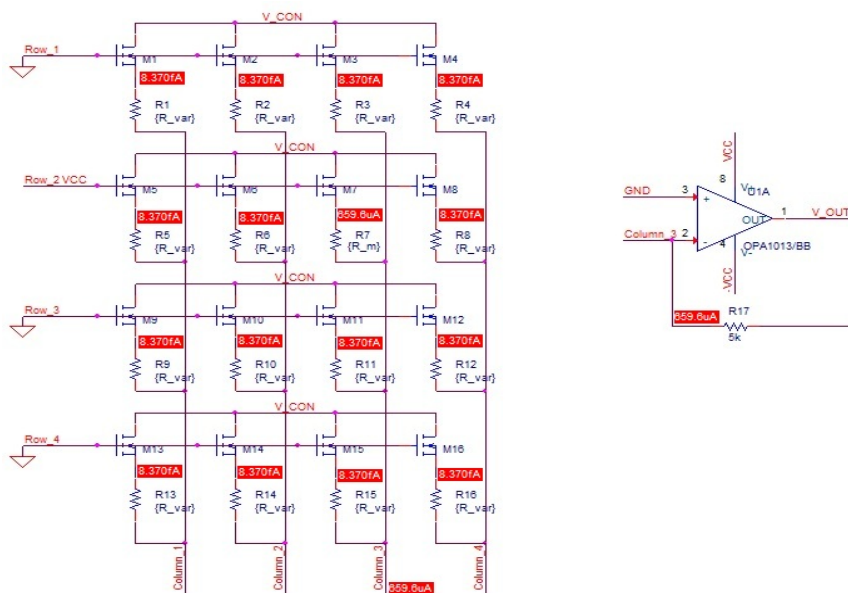


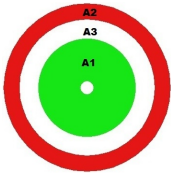
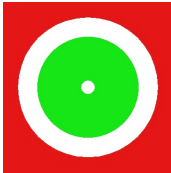


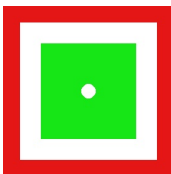

Figura 4: Circuito implementado para cubrir grandes áreas con bajo consumo.

El circuito implementado utiliza tantos conmutadores como elementos tiene la matriz, de tal forma que cuando una fila es seleccionada todos los conmutadores sobre esa fila

son seleccionados pero sólo un elemento es seleccionado, ya que los otros elementos no seleccionados permanecen en alta impedancia. La columna seleccionada se conecta a la entrada negativa del amplificador operacional a través de un multiplexor, mientras las otros son dejadas al aire.

Selección de la forma del electrodo

Una de las partes importantes cuando se realizan sensores táctiles basados en piezorresistivos es elegir la forma del electrodo con mejor comportamiento, esto es, mejor sensibilidad y menor histéresis.

		
Shape 1	Shape 2	Shape 3
$A_1 = 19,62 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 19,62 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 18,85 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 1$	$A_1 = 19,62 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 35,48 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 18,85 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 1,82$	$A_1 = 19,62 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 29,81 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 8,63 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 1,52$
		
Shape 4	Shape 5	Shape 6
$A_1 = 19,62 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 20,42 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 4,124 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 1,04$	$A_1 = 19,81 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 19,39 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 18,81 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 0,98$	$A_1 = 25 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2 = 24,04 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_3 = 20,36 \text{ [mm}^2\text{]}$ $A_2/A_1 = 0,96$

Cuadro 1: Shape and size of electrodes make with PCB technology

Se han realizado experimentos con cuatro diferentes espumas para conseguir la forma con mejor comportamiento. En la siguiente tabla se muestra la sensibilidad para cada una de las seis formas:

	Shape 1	Shape 2	Shape 3	Shape 4	Shape 5	Shape 6
PU	1.35 [V]	1.5 [V]	1.54 [V]	1.38 [V]	1.34 [V]	1.71 [V]
Rubber	2.43 [V]	2.54 [V]	2.45 [V]	2.49 [V]	2.45 [V]	3.05 [V]
PE	1.81 [V]	2.05 [V]	1.94 [V]	1.88 [V]	1.74 [V]	2.86 [V]
PEF	1.37 [V]	1.91 [V]	1.85 [V]	1.55 [V]	1.40 [V]	2.10 [V]

A partir de esta tabla se obtienen algunas cosas interesantes. Como que la forma de los electrodos no tiene mucha importancia en la sensibilidad. Los elementos con mayor área tiene mayor sensibilidad. Y una menor distancia entre los electrodos obtienen una mejor sensibilidad. Y que los electrodos con áreas balanceadas obtienen una mayor sensibilidad. Además se ha comprobado que los elementos con forma circular tienen menor histéresis que los elementos con forma cuadrada.

Implementación del sensor

Una vez la electrónica ha sido elegida, así como la forma del electrodo, el siguiente paso es visualizar los objetos posicionados sobre el sensor. En las siguientes imágenes se muestran algunos ejemplos:

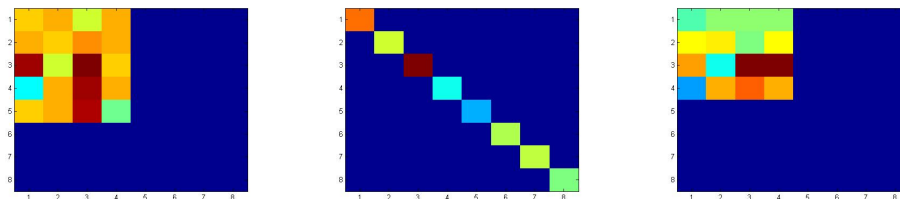


Figura 5: muestra diferentes objetos posicionados sobre el sensor.

Multi-scale y bajo consumo

Además se ha desarrollado un nuevo sistema para apagar el sensor cuando este no detecta presión. Así si el sensor no es presionado permanecerá en SLEEP-MODE, es decir, todos los elementos son seleccionados y el voltaje suministrado a los elementos es más baja que para el funcionamiento normal, SCANNING-MODE. En la siguiente imagen se muestra el diagrama de bloques implementado para llevar a cabo este nuevo sistema.

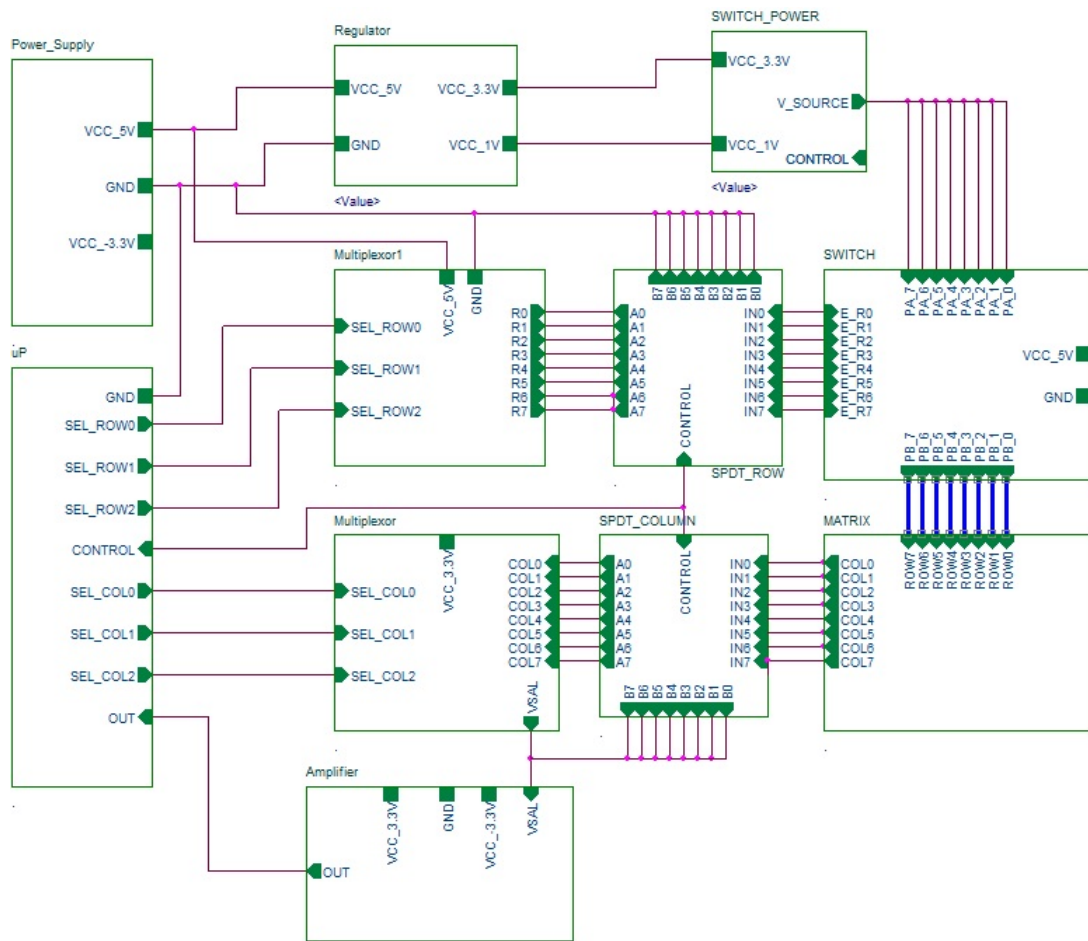


Figura 6: Circuito desarrollado para lograr el sleep mode.