

Diseño, Análisis e Implementación de un Piso Interactivo en la entrada del edificio del CTI

Bruno Guamán ⁽¹⁾ Gonzalo Luzardo, Msc. ⁽²⁾
Facultad de Ingeniería en Eléctrica y Computación ⁽¹⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
bguaman@cti.espol.edu.ec⁽¹⁾ gluzardo@cti.espol.edu.ec⁽²⁾

Resumen

En el presente artículo se presenta el diseño e implementación de un sistema de proyección interactivo basado en visión por computador que utiliza una arquitectura cliente servidor, que lo denominamos piso interactivo. Como parte del trabajo de investigación se presentan las distintas tecnologías disponibles para la implementación de este tipo de sistemas y se comparan sus características principales como escalabilidad del área de interacción, integridad de sus componentes y costos de implementación, que justifican la implementación del piso interactivo basado en visión por computador como la solución más conveniente en base a los requerimientos planteados. Así mismo, se presenta la arquitectura propuesta para el diseño del piso interactivo y su implementación. Finalmente, se describe los resultados de la implementación medidos a través de pruebas de funcionalidad y usabilidad con usuarios finales.

Palabras Claves: Superficie interactiva, interfaces naturales, proyección interactiva, visión por computador.

Abstract

In this paper, we present the design and implementation of an interactive projection system based on computer vision that we called interactive floor. As part of this research work, the different available technologies for this type of system implementation are presented and we compare their main characteristics as interaction area scalability, components integrity and implementation that justify the implementation based on computer vision as the more convenient based on the proposed requirements. Likewise, the proposed architecture for the interactive floor design and implementation is presented. Finally, the implementation results measured through functionality and usability tests with users are described.

Keywords: Interactive surface, natural interfaces, interactive projection, computer vision.

1. Introducción

La interacción entre las personas y los computadores ha cambiado y evolucionado progresivamente comenzando desde la utilización de terminales de comando, que sólo podían ser utilizados en la mayoría de casos por expertos en el uso de computadores, hasta la actualidad, donde se pueden controlar los computadores a través de interfaces más naturales como la voz, gestos e incluso a través de señales del cerebro.[1]

Aplicando los conceptos de computación ubicua y de las interfaces naturales de usuario podemos crear espacios tecnológicos interactivos prácticamente en cualquier escenario donde se encuentre localizado el ser humano. La interacción natural se basa en que el usuario pueda controlar una aplicación de cualquier tipo, evitando el uso de interfaces visibles o tangibles como ratón, mouse, entre otros, si no más bien pueda hacerlo a través de una interfaz invisible que resulte intuitiva y fácil de aprender la cual pueda ser accedida a través de gestos o movimientos corporales que son

interpretados como comandos de entrada para la aplicación.

El presente artículo describe el diseño e implementación de un piso interactivo basado en visión por computador y que utiliza una arquitectura cliente servidor. Este enfoque permite tener un sistema robusto y escalable, que permite monitorear por separado la detección del movimiento y la ejecución de gráficos interactivos.

Los usuarios interactúan con animaciones y efectos visuales generados dinámicamente y proyectados sobre el piso.

Para validar el sistema se realiza un estudio de funcionalidad y usabilidad con usuarios. Este estudio tiene el objetivo de no solo medir la funcionalidad de la aplicación, si no también la sensación de inmersión de los usuarios sobre las animaciones.

2. Materiales y Métodos.

Los materiales utilizados para la implementación del piso interactivo se detallan en la Tabla 1. Adicional a estos, se utilizó un computador encargado de alojar las herramientas de software para el funcionamiento del sistema.

También deben ser considerados materiales adicionales como la instalación del soporte y de la superficie para la proyección.

Tabla 1. Materiales Utilizados

Cantidad	Material	Costo
1	Proyector SONY	\$4000
2	Lámpara Infrarroja	\$120
1	Soporte metálico	\$300
1	Cámara IP	\$450

La metodología utilizada en la implementación del piso interactivo se basa en el uso de técnicas de visión por computador y de iluminación infrarroja para rastrear los movimientos realizados por las personas sobre una superficie en la que se proyectan animaciones interactivas. La utilización de estas técnicas permite implementar sistemas de proyecciones interactivas a bajo costo y con altos niveles de precisión en la detección, tiempos de respuesta rápidos y altos niveles de usabilidad.

Para su implementación se propone un diseño en el que se contempla la instalación y configuración adecuada de sus componentes y la adaptación de software utilizado en la implementación de mesas multi-táctiles. Se diseñaron y ejecutaron pruebas que miden la funcionalidad y la calidad de interacción entre usuarios y el sistema.

3. Pisos interactivos basados en visión por computador

Los pisos interactivos basados en visión por computador generan la entrada al sistema a través de una cámara ubicada encima de las personas, la cual envía la secuencia de imágenes a un software de visión por computador que rastrea las áreas en movimiento comparando fotogramas subsecuentes.

El primero de estos sistemas que utilizó visión por computadora fue el Ifloor [3], ubicado en la biblioteca municipal de Dinamarca, cuyo propósito principal es ayudar y estimular la interacción entre personas que compartan un espacio en común.

La implementación de este tipo de sistemas tiene ventajas frente a los pisos interactivos basados en sensores[4], puesto que los elementos necesarios para su implementación son de bajo costo en comparación a las mallas de sensores. Además debido a la

ubicación del sistema mantiene seguros los componentes frágiles al estar fuera del alcance de las personas y proporciona un interfaz humano computador que no altera la visibilidad del espacio físico. También tiene escalabilidad en cuanto al tamaño del área de interacción puesto que depende únicamente de la distancia de proyección para ampliar el espacio interactivo y su capacidad para interactuar con varias personas al mismo tiempo depende únicamente del rango de visión de la cámara y de la capacidad del procesador al que se envían los datos.

La implementación de este tipo de interfaces permite crear aplicaciones que muestran el avance tecnológico en desarrollo de manera entretenida e intuitiva.

4. Diseño propuesto

La arquitectura del Piso Interactivo está basada en un esquema cliente – servidor. Donde el servidor se encarga de detectar el movimiento que se realiza sobre el suelo y envía esta información al cliente que genera las animaciones interactivas que luego son proyectadas.

Por otro lado, la arquitectura física del sistema consta de una cámara junta a un proyector ubicado en posición cenital, con una altura mayor a 3 metros de esta manera permite capturar enteramente el área de interacción. Estos se comunican con un servidor remoto en el cual se lleva a cabo el procesamiento. La superficie sobre la cual se proyectan las animaciones debe ser de color blanco para conservar lo más posible el aspecto y color original de los gráficos y además debe ser no reflectiva para no crear interferencias con las imágenes capturadas.

Para el diseño de la solución además se propone utilizar una adaptación de la técnica de iluminación infrarroja iluminación difusa [5] (Figura 1), generalmente usada en la implementación de mesas multi-táctiles. Su implementación se compone de dos lámparas infrarrojas y una cámara que permite la captura de luz infrarroja. Ambas deben ubicadas encima del área de interés. El uso de esta técnica permite atenuar las sombras detectadas sobre el suelo y los gráficos proyectados y además permite diferenciar a las personas del resto de la imagen capturada por la cámara.

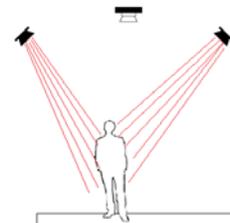


Figura 1. Esquema de Iluminación Infrarroja

Adicionalmente se necesita un soporte metálico resistente para sostener todos los componentes y prevenirlos de daños. La arquitectura básica del sistema se puede visualizar en la Figura 2.

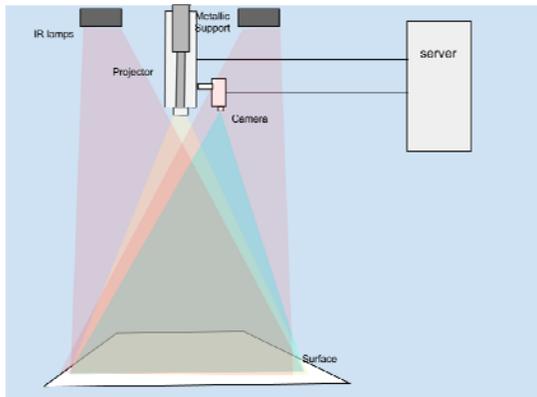


Figura 2. Arquitectura básica del piso interactivo

Siguiendo el esquema propuesto el servidor se encargará de procesar las imágenes de entrada, realizar una comparación entre fotogramas subsecuentes y finalmente generar representaciones binarias del movimiento detectado conocidas como blobs. El cliente por su parte toma la información de los blobs y los convierte en efectos y gestos dentro de las animaciones interactivas. Para su comunicación es necesario definir un protocolo que permita la comunicación eficiente y segura de paquetes entre ambos componentes. Los datos que comunicaremos deben expresar no solo el centroide del blob como usualmente se hace en mesas multi-táctiles, sino además su forma general, de esta manera se consigue un efecto visual más natural e intuitivo. En la Figura 3 podemos observar un esquema básico del funcionamiento interno del piso interactivo.

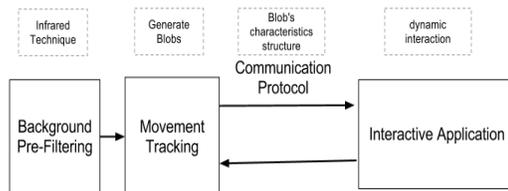


Figura 3. Funcionamiento interno del sistema

5. Instalación de los componentes

Para la instalación de los componentes, se utilizaron un proyector de alta luminosidad de más de 2500 lúmenes, para contrarrestar la luz ambiental en el escenario de instalación, una cámara IP, debido a que la distancia con el servidor excedía los 10 metros que es el límite máximo para cámaras USB, mientras

que la comunicación con cámaras IP se puede realizar a través de la red con cables que de longitud máxima de hasta 100 metros.

Adicionalmente se diseñó y construyó un soporte metálico para sostener los componentes de hardware a ser utilizados. Este soporte cuenta con un espejo que redirecciona la proyección, para evitar apuntar el proyector al piso.

De igual forma se colocaron lámparas infrarrojas a los costados del soporte con el objetivo de iluminar el piso. Estas lámparas fueron cubiertas con un material difusor sobre de manera para evitar que la luz emitida genere focos de luz sobre el piso.

A la cámara se le removió el filtro de luz infrarroja y se colocó un filtro de luz visible, este filtro se encarga de bloquear la mayor cantidad de luz visible en el sistema y evitar capturar las imágenes proyectadas en el piso. En la Figura 4 se muestra la instalación completa de los componentes.



Figura 4. Instalación de los componentes

6. Implementación de Software

La detección de movimiento es realizada utilizando un esquema de detección dinámica de movimiento a través de software de código abierto Community Core Vision (CCV) [6], el cual está basado en el conjunto de herramientas Openframeworks [7] originalmente diseñado en mesas multi-táctiles. Este software fue modificado para que pueda ser utilizado en pisos interactivos. En la Figura 5 a continuación podemos observar la detección de una persona a través de CCV.

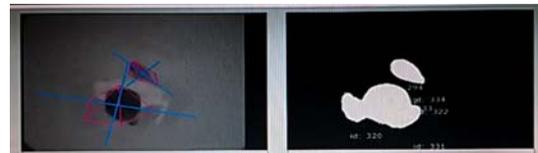


Figura 5. Representación binaria del movimiento

Puesto que el perfil utilizado para la comunicación en mesas multi-táctiles está diseñado para transmitir información correspondiente a dedos sobre una superficie, esto genera en las animaciones que se proyectan sobre el suelo un efecto visual muy débil, por lo que para generar efectos visuales acordes al

área que ocupa una persona sobre el suelo fueron necesarios cambios en la comunicación.

Para resolver el problema anterior se tomó el contorno de cada blob antes de ser enviado a través del formato de cursor de TUIO [8]. Del contorno se tomaron para esta implementación varios puntos, cada uno de estos puntos fue enviado como un blob individual con el fin de generar un impacto visual en las animaciones que responden al seguimiento de un área enés del seguimiento de dedos para lo cual fue diseñado CCV. Un ejemplo de esta diferencia visual es mostrado en la Figura 6.



Figura 6. Diferencia Visual luego del cambio en la comunicación.

Los gráficos son generados en MT4J [9], que es un framework open source para el desarrollo de aplicaciones interactivas el cual provee funcionalidad de alto nivel y tiene como objetivo proveer un conjunto de herramientas para el desarrollo de aplicaciones multi-táctiles de una manera sencilla y rápida. En este proyecto fueron implementadas dos animaciones. La primera animación llamada “Estanque de peces” es un estanque virtual de peces koi que se acercan a las personas que se posan sobre el piso. La segunda animación es una piscina de círculos de colores con propiedades físicas que responden al movimiento de los usuarios, en la Figura 7 se puede observar esta animación en funcionamiento.



Figura 7. Animación de Piscina de círculos de colores

7. Administración Web de Animaciones

En el presente proyecto, además se implementó un sistema Web que permita ejecutar y programar las animaciones que se proyectan sobre el suelo. También aquí nos basamos en un esquema cliente – servidor para la comunicación interna.

Con el objetivo de mejorar la experiencia de usuario, la interfaz del cliente fue desarrollada en HTML5 y CSS3 (Figura 8).

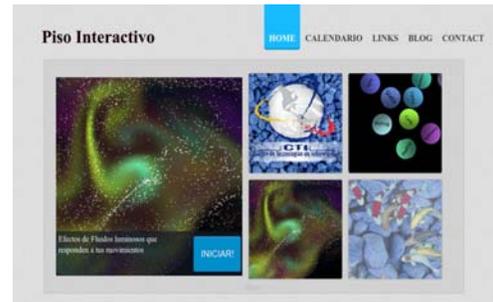


Figura 8. Sistema de Administración Web de Animaciones

El servidor fue implementado en Python y tiene la tarea de recibir los mensajes enviados desde la interfaz Web. La comunicación entre ambos se lleva a cabo por medio de sockets, que permiten la comunicación a través de la red. Se envía al servidor el identificador de la animación, este busca la animación, la ejecuta y devuelve a la interfaz un mensaje indicando si la ejecución del proceso fue exitosa o no. En la Figura 9 podemos ver el esquema general de la comunicación del administrador Web.

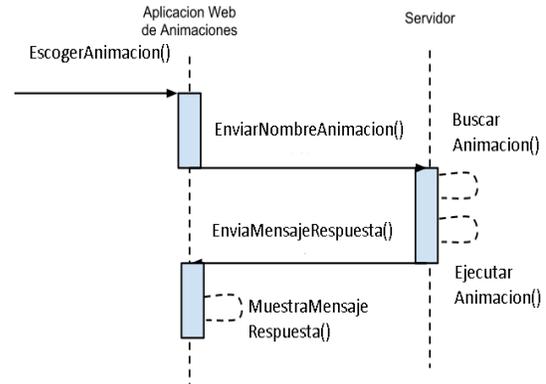


Figura 9. Comunicación Interna del Administrador Web

La programación de animaciones, se guardan en archivos XML donde se especifican el nombre de las animaciones que se van a ejecutar y con qué frecuencia lo harán. Luego este archivo es leído por el servidor y ejecuta las animaciones guardadas.

8. Descripción de las Pruebas

Se realizaron pruebas en el sistema para medir factores importantes en el desempeño del sistema. Se midió su robustez en al cambiar la iluminación ambiental. Para esto se tomaron muestras de la detección a las 8:00 AM, 12:00 PM y 15:00 PM como se ve en la Figura 10.

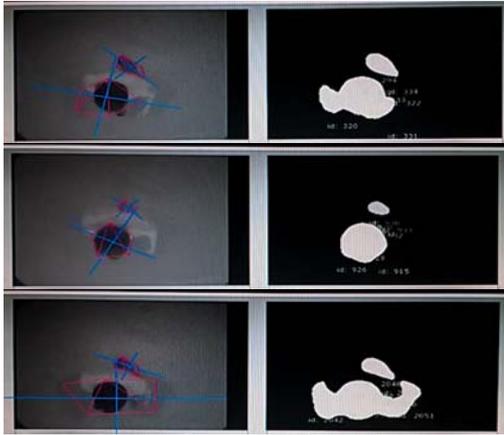


Figura 10. Cambio en la detección al variar la iluminación

Se midió además la variación en la latencia y en el uso del procesador, al cambiar la cantidad de fotogramas por segundo con que funciona el sistema como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2. Latencia y uso del procesador al variar los fps.

Tasa de Fotogramas	Latencia aproximada	Porcentaje de uso del Procesador
5fps	1000ms	55%
15fps	600ms	64%
25fps	400ms	74%

Además se midió el aumento del procesador en los programas que componen el sistema CCV y MT4J al incrementar el número de personas que interactúan simultáneamente como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Uso del Procesador al incrementar el número de personas

Nro. de Personas	Porcentaje uso del procesador	
	CCV	MT4J
1	23	32
2	24	32
3	25	32
4	26	33

Para medir la calidad de interacción con el sistema se pidió a los usuarios que interactúen con la animación de “*Estanque de peces*” en la que se les pide que respondan cual es el comportamiento de la animación al posarse sobre el suelo y la facilidad con la que logran determinar cómo comunicarse con el sistema (Figura 11).



Figura 11. Animación de Estanque de peces

Para medir la usabilidad con el administrador Web de animaciones se diseñaron tareas que determinen factores como la exactitud, tiempo, facilidad de recordar tareas realizadas anteriormente y el diseño visual de la interfaz.

Las tareas realizadas por los usuarios fueron las siguientes.

- Ejecutar una animación específica.
- Crear una Programación de animaciones solicitada, guardarla y ejecutarla.
- Calificar el diseño visual del interfaz.
- Realizar la tarea 2, con un orden distinto de animaciones.

Se tomó el tiempo en la realización de cada tarea y se solicitó a los usuarios que califiquen el nivel de complejidad para realizar las tareas 1,2 y 4.

9. Resultados de las pruebas realizadas

Según las pruebas realizadas se determinó que la detección de los blobs al variar la iluminación ambiental durante el día varía muy poco gracias a la técnica de iluminación infrarroja utilizada.

Como podemos ver en la Tabla 2 y en la Figura 12 la tasa de fotogramas adecuada para transmitir la información sin sobrecargar el procesador ni generar valores de latencia muy altos es de 15 fps.

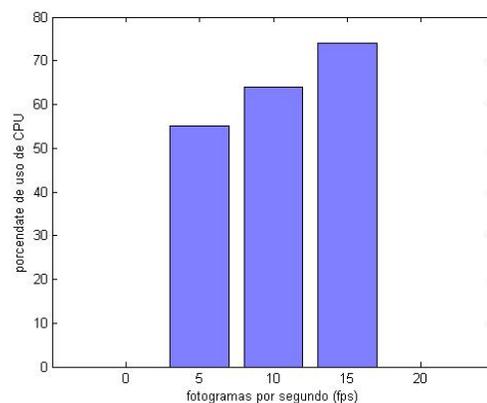


Figura 12. Uso del Procesador al cambiar los fps.

Como se puede observar en la Figura 13 se determina que el aumento en el procesador al

incrementar el número de personas usando el sistema simultáneamente, en CCV se comporta de manera lineal y en MT4J se mantiene constante.

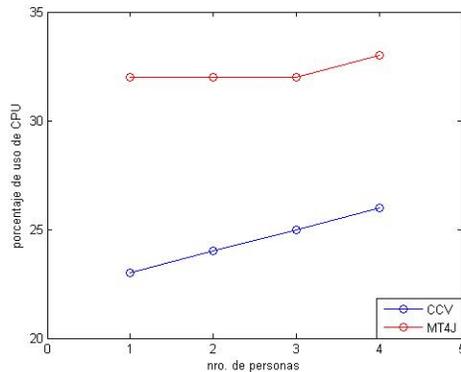


Figura 13. Gráfica del Uso del Procesador al aumentar el numero de personas

En las pruebas de interacción con el piso interactivo, todos los usuarios respondieron acertadamente al comportamiento de la animación como se ve en la Figura 14. De esta manera se determina que no se necesita ninguna instrucción previa para su utilización.

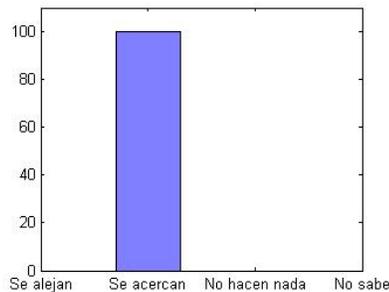


Figura 14. Resultados de comportamiento intuitivo

En cuanto a la facilidad para lograr interactuar con el sistema, la mayoría de usuarios calificaron favorablemente al sistema como se puede ver en la Figura 15.

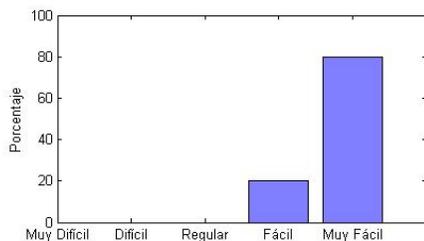


Figura 15. Resultados de facilidad de interacción

Las pruebas de usabilidad realizadas en el administrador web. Indicaron que las tareas 1 y 2

como se pueden ver en la Figura 16 resultan sencillas de realizar para los usuarios, mientras que la tarea 4 donde se pide cambiar el orden de las animaciones resulta más compleja. Esto se debe a que los usuarios principalmente no recordaban que para observar los cambios en la programación se debía guardar antes de enviar a ejecutar.

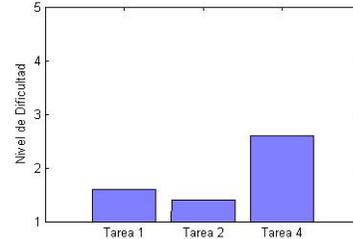


Figura 16. Complejidad de las tareas según los usuarios

Adicionalmente se muestra en la Figura 17 los tiempos utilizados por los usuarios para realizar, las tareas anteriores. Se puede observar el consumo excesivo de tiempo en la última tarea.

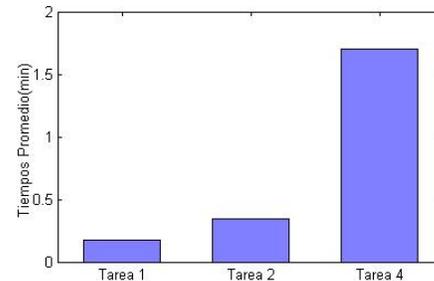


Figura 17. Complejidad de las tareas según los usuarios.

10. Conclusiones

1. Se consiguió implementar un piso interactivo basado en Vision por computador según las especificaciones expuestas al inicio del documento.
2. Si bien se determinó que la interacción con este tipo de sistemas, resulta ser sencilla e intuitiva, esto depende completamente del tipo de aplicación o animación que se proyecte.
3. La modificación realizada en el envío de los blobs a las aplicaciones interactivas entrego como resultado efectos visuales más realistas, y que se comportan de acuerdo a la forma general de la persona u objeto en movimiento sobre el suelo.
4. Aunque el diseño del Administrador web resulta ser agradable para la mayoría de usuarios presenta falencias de usabilidad, que dificultan la realización de algunas tareas.

11. Recomendaciones

1. Se recomienda implementar un sistema más eficiente para comunicar la forma general del área en movimiento detectada.
2. Se recomienda la implementación de aplicaciones como juegos que permitan incrementar la interacción social de las personas que interactúen con el piso.
3. Implementar efectos auditivos que permitan a los usuarios sentirse más inmersos en las animaciones proyectadas.
4. Realizar cambios en la interfaz web de administración de animaciones que permita una interacción más sencilla al realizar las tareas.

12. Agradecimientos

Un agradecimiento al Msc. Gonzalo Luzardo por su tiempo y apoyo brindado al ser el director de Tesis de este proyecto de grado.

También agradezco al Centro de Tecnologías de Información que me permitió utilizar sus recursos e instalaciones para el desarrollo de este proyecto.

13. Referencias

- [1] Incera, J., Nuevas Interfaces y sus Aplicaciones en las Tecnologías de Información y Comunicaciones, Instituto Tecnológico Autónomo de México, Octubre 2007.
- [2] Vargas, A., Sistema Multimedia Interactivo de Búsqueda de Información por medio de una Pantalla Multitouch de Bajo Costo, FIEC, ESPOL, 2010.
- [3] Krogh, P.G., Ludvigsen, M., Lykke-Olesen, Help me pull that cursor - A Collaborative Interactive Floor Enhancing Community Interaction. Proceedings of OZCHI, 22-24 November, 2004.
- [4] Fernström, M., Griffith, N., Litefoot – Auditory Display of Footwork. Proceeding of ICAD'98, Glasgow, Scotland, 1998
- [5] Ardavan, M., Interactive Floor. Design Project Report Interaction Design, IT-University. Chalmers University of Technology, 02/12/2012.
- [6] NuiGroup, Community Core Vision, <http://ccv.nuigroup.com/>, 02/12/2012.
- [7] Castro, A., OpenFrameworks, <http://www.openframeworks.cc/>, 5/01/2013
- [8] Liu, Q., TUIO, Touchlib, reacTIVision and Community Core Vision, Media Arts and Technology, University of California, Santa Barbara, 28/11/2012.
- [9] Nuigroup, Multi-touch for Java, <http://www.mt4j.org/>, 2/12/2012.