

Técnicas de Modelado de Ropas Digitales

Fabrizio F. Tarouco, Sandra S. Baldassarri, Francisco José Serón, Eva Cerezo
UNIZAR - Universidad de Zaragoza – Grupo de Informática Gráfica Avanzada
Centro Politécnico Superior - Departamento de Informática e Ingeniería de Sistemas
{briccio, sandra, seron, ecerezo} @unizar.es

Resumen

Las aplicaciones de la computación gráfica relacionadas con la ropa digital se pueden ver tanto en la industria de la moda como también en el cine, que cada vez más está ofreciendo un número creciente de películas producidas por ordenador.

El uso de ropa digital o virtual crea nuevas posibilidades e intereses que se pueden utilizar por animadores, artistas y desarrolladores de *software*.

Muchos factores diferentes afectan al movimiento, los pliegues y la forma de los tejidos. Los detalles son importantes, pues el público general puede no ser capaz de reconocer detalles específicos sobre movimientos y pliegues, pero sin embargo es capaz de ver cuando estos no son correctos, y esto los distraerá.

Aquí se presenta una visión general de las técnicas de modelado de ropa que tratan de realismo visual y exactitud física. Las técnicas de modelado de ropa usualmente se clasifican en tres categorías: geométricas, físicas e híbridas.

Palabras-Clave: ropa, modelado, simulación, animación y pliegues.

Abstract

The many uses of computer graphics related to digital clothes have been used as much in the fashion industry as in the cinematographic one, which offers a growing number of movies produced by animation.

The application of digital or virtual clothes spread new possibilities and interests, that can be utilized by people who work with animation, artists and software developers.

Many different factors affect the movement, the drape and the fabric's form. The details are important because perhaps the general public is not able getting to know specific details about movement and crease but they are for sure able to realize when something does not make sense, and these kind of things will make the entire public absent-minded.

It is presented here a general overview about clothes modeling which deals about visual realism and physics accuracy. Clothes modeling techniques are usually classified in three categories: geometrical, physics and hybrid.

Keywords: cloth, modeling, simulation, animation, drape and render.

1. Introducción

El trabajo de artistas conocidos, como Rafael o Miguel Ángel, es admirado por muchas personas en el mundo entero. La forma con que representan el cuerpo humano y el realismo de las ropas, reproducidas en sus pinturas y esculturas, demuestran la dedicación necesaria para alcanzar la perfecta expresión de la realidad. Actualmente, con el surgimiento de nuevas tecnologías, se están introduciendo nuevas formas de expresión en el mundo. Hoy en día, los pliegues y detalles característicos de las ropas dejan de ser solamente un desafío para el arte y se hacen factores importantes de investigación en los mundos virtuales de la computación gráfica.

Ingenieros, matemáticos y físicos han desarrollado teorías y modelos que buscan simular comportamientos y deformaciones de materiales textiles, teniendo en cuenta su apariencia y movimiento. Aunque se ha avanzado mucho en ese camino, existe aún una gran cantidad de detalles que se necesita investigar y trabajar, a fin de obtener mayor realismo.

A pesar de que en computación gráfica, la apariencia suele ser más importante que la exactitud física, muchos investigadores comienzan a centrar sus investigaciones a fin de integrar las exigencias del realismo visual y de la exactitud física [NG96].

Las técnicas para generar tejidos difieren en varios aspectos, como en la estructura utilizada, los colores escogidos y las texturas deseadas. La ropa se caracteriza por el tejido, el corte, los pliegues, la adaptación al cuerpo y el modelo pretendido. Se construyen diferentes tipos de tejidos para diferentes tipos de aplicaciones en informática gráfica, donde ligeras variaciones en la estructura, en la forma que se teje el hilo y el acabado final dado, influyen en la manera que el tejido se arrugará, se ajustará, y se moverá en la ropa completa.

El uso de ropa digital o virtual crea nuevas posibilidades e intereses que pueden utilizarse tanto por animadores, como por desarrolladores de software o artistas. Muchas de las características de la ropa real no existen en las ropas virtuales, y esto podría considerarse una ventaja, a menos que esos efectos sean necesarios. Por ejemplo, una ropa puede tener apariencia de nueva o desgastada por el tiempo, y estos detalles también se deben incorporar y animar [HOU00]. Las indumentarias digitales no se desgastan, tampoco tienen que ser reconstruidas, ya que mantienen su forma a lo largo del tiempo. No se decoloran a menos que sean animadas a tal efecto. No encogen. No tienen que lavarse o plancharse. Es más, si se desea realismo, probablemente se deberían añadir las manchas para lograr esta sensación. Es decir, muchos factores diferentes afectan el movimiento, los pliegues y la forma del tejido. Estos detalles son muy importantes, pues el público general puede no ser capaz de conocer detalles específicos de movimiento y pliegues, sin embargo es capaz de detectar cuando no es correcto.

El proceso de animación de la ropa está influenciado por varios elementos y un animador debe dominar muchos comportamientos y aspectos antes de iniciar el trabajo. La rigidez o flexibilidad de los hilos afectan los pliegues o las arrugas cuando están presentes en un movimiento. Los factores que afectan al movimiento y a la acción de la ropa sobre el cuerpo

son, entre otros, la cohesión entre hilos tejidos y su adherencia, la elasticidad, el espesor y el peso del tejido.

Una tela también está sujeta a efectos, como fricción y colisión cuando está en contacto consigo misma, con el cuerpo o con otra ropa; la rigidez relativa del cuerpo humano ofrece grados distintos de interferencia en el movimiento y pliegues de la ropa, se debe considerar entonces el lugar donde el tejido se pega al cuerpo, donde los pliegues impactan contra el cuerpo y cómo actúan los bordes [SEI94].

2. Modelado de Ropa

Las aplicaciones de Informática Gráfica relacionadas con la ropa digital se ven tanto en la industria de la moda como también en el cine, que viene ofreciendo un número creciente de películas generadas por ordenador. En el mundo de los gráficos se comenzó a trabajar en el modelado de ropas a partir de 1980. Inicialmente, los trabajos se centraron en la simulación de formas complejas, en la deformación de tejidos y en la representación de ropa en 3d.

El objetivo de los primeros trabajos desarrollados consistía en crear modelos que reprodujeran las características visuales de la ropa, con un buen apoyo computacional. Los investigadores del mundo de la informática gráfica intentan crear modelos más sencillos que produzcan resultados de apariencia realista o aceptable a los observadores medios [HOU00].

La investigación sobre la apariencia microscópica de las telas, o de la estructura de la ropa, no recibió demasiada atención hasta recientemente, cuando creció la preocupación acerca de los niveles de detalles. Las investigaciones en el área de las telas digitales se centran en primer lugar en el modelado y en la visualización de la estructura macroscópica de la construcción de tejidos y, solamente posteriormente se preocuparon por la estructura microscópica. La industria textil se beneficiaría claramente de la habilidad en reconocer la escala completa del tejido, no solamente los comportamientos mecánicos macroscópicos, sino también las propiedades visuales microscópicas.

Actualmente, con el pasar de los años, los investigadores buscan cubrir varias áreas de interés del mundo textil, centrándose principalmente en la simulación de comportamientos de una pieza de ropa, así como de una serie completa de vestuario y su interacción con el ambiente exterior. En este trabajo se presenta una visión general de técnicas de modelado de ropa que van desde el realismo visual hasta la exactitud física. Las técnicas de modelado de ropa usualmente se clasifican en tres categorías: geométricas, físicas e híbridas [NG96]. Dentro de cada una de estas técnicas, los trabajos no siguen patrones bien definidos, por lo tanto se ha optado por presentar cada trabajo individualmente, de acuerdo con el orden cronológico de su publicación.

3. Técnicas Geométricas

Los modelos geométricos se centran en la apariencia, principalmente, en la generación de arrugas y pliegues que se representan por medio de ecuaciones geométricas, sin considerar las propiedades físicas de la ropa.

En 1986 Weil [WEI86] define una técnica geométrica que aborda los pliegues existentes en una pieza cuadrada de tela. En su trabajo se representa la tela suspendida como una rejilla de puntos, simulando las formas entre los puntos de la malla a través de curvas cuaternarias. Cuando dos curvas se cruzan, pero no se interseccionan en un punto en el espacio, se elimina la curva más baja. Las superficies se generan por la subdivisión de los triángulos formados por las curvas. En el momento de la visualización, se colocan curvas *splines* en la superficie de la ropa para generar una forma suave.

Cuatro años más tarde, en 1990, Agui et al [AGU90] presentan un método geométrico para el modelado de un guante en un brazo con articulaciones. En este trabajo representan la ropa como una cavidad cilíndrica formada de una serie de anillos circulares y observan la formación de pliegues como una consecuencia de las diferencias de curvaturas entre la parte interna y externa del guante. Usando esta idea, los pliegues se simulan por la transformación de anillos circulares en polígonos.

En el año de 1995, Gröller et al [GRO95] presentan una técnica para modelado y visualización de ropas, donde la ropa se representa de forma realista haciendo énfasis en la apariencia de la textura del hilo y de la lana. Después de la especificación de los principales elementos de la ropa, se hace una subdivisión en elementos básicos, teniendo en cuenta que el micro estructura del hilo es el principal elemento en este trabajo, pues proporciona la construcción de una estructura repetitiva en el proceso de fabricación de ropa. La técnica consiste en el modelado de la micro estructura del hilo como un dato 3D y permite simular ropas de punto.

En 1998, Volino y Thalmann [VOL98], desarrollan un algoritmo jerárquico para detección de colisiones y auto-colisiones, y técnicas para evaluar la orientación de las mismas, utilizando consideraciones geométricas basadas en curvaturas presentadas en [VOL94]. El sistema de 1998 presenta mejoras para calcular la orientación de colisiones, posibilitando una respuesta más exacta cuando se trabaja con superficies altamente deformables y con pliegues.

Daubert et al [DAU01] describen un método que da al observador la sensación de pequeños desplazamientos causando oclusión y sombras, así como efectos de iluminación. Este método permite modelar y visualizar tejidos trabajando con una técnica de repetición en el proceso de construcción del tejido. El método utiliza un número variable de puntos, que son repetidos en la creación de la ropa, usando un modelo geométrico de puntos simples. Los puntos normalmente se encuentran en una superficie donde se genera una textura que simula las propiedades del material.

Finalmente, en 2005 Li y Volkov [LI05] desarrollan un método adaptativo dinámico de mallas triangulares propias para simulación de ropas. Se usa una técnica *bottom-up* para refinamiento de mallas que no requiere almacenamiento y computación previa de jerarquía multiresolución: la jerarquía se construye en función del tiempo y se permite reversión del refinamiento local. La simplificación de la malla a través del criterio de inducción de curvaturas que se genera usando métodos de geometría diferencial discreta.

4. Técnicas Físicas

Los modelos físicos son aquellos que simulan el comportamiento de un objeto que se asemeja a la ropa, teniendo en cuenta las fuerzas o energías que actúan en los puntos de una malla que forman la ropa. Las técnicas de esta categoría suelen representar los modelos de ropa como rejillas triangulares o rectangulares, con puntos de masa en las intersecciones. Las fuerzas o energía en los puntos se calculan en relación a los puntos vecinos. Las técnicas basadas en fuerzas representan los factores que actúan entre puntos como ecuaciones diferenciales y ejecutan una integración numérica para obtener la posición de los puntos para cada instante de tiempo. En general, estas técnicas se usan en simulación mecánica.

En 1986, Feynman [FEY86] simula algunas de las propiedades mecánicas de la ropa, definiendo una serie de funciones de energía sobre una rejilla 2D de puntos 3D. La energía total de este modelo de ropa considera la tensión, los pliegues y los efectos de la gravedad. La energía se minimiza con un método *multigrid* asumiendo que la ropa es un material flexible continuo, derivando las funciones de energía de la teoría de placas elásticas. Dichas funciones se basan únicamente en la distancia entre puntos y en una simple medida de la curvatura.

Terzopoulos et al [TER87] introducen en 1987 un modelo deformable para generar objetos flexibles que, posteriormente, ha sido usado en varias investigaciones para el modelado y la visualización de ropas. El modelo trabaja con ecuaciones de masa, de densidad y fuerzas elásticas. Para obtener la solución de estas ecuaciones se discretiza por diferencias finitas o por el método de elementos finitos. Como aplicación se genera la simulación de una bandera flameando y una alfombra con pliegues sobre varios objetos. Este trabajo sirvió de base para muchos otros trabajos posteriores [TER88] [SAK91] [THA91] [LI93].

Posteriormente, Sakaguchi et al [SAK91] desarrollan un sistema llamado *Party* para modelar ropas, en el que se usa una rejilla para representar la ropa de forma realista en base a las leyes de Newton de la dinámica. Los componentes de las fuerzas internas se centran en el modelo deformable de Terzopoulos [TER87] que usa fuerza de estiramiento, fuerza de viscosidad y de plasticidad. El sistema determina la velocidad y la posición de la ropa usando el método de Euler, teniendo en cuenta la interacción de la ropa con el cuerpo humano. En el trabajo se da una atención especial a la detección de colisión de la ropa con el cuerpo o con la propia ropa, presentando simulaciones que incluyen una ropa suspendida al viento y un vestido en un modelo de cuerpo humano.

El grupo de Thalmann [THA91], basándose en los trabajos de Terzopoulos [TER87] y Aono [AON90], desarrolla en 1991 un sistema que consta de tres partes principales y se centra en la interacción entre la ropa y el cuerpo humano: la ropa, que se representa como un panel poligonal, sus aristas y vértices que se unen juntos en 3D y, finalmente, la animación como interacción entre el cuerpo y la ropa. A partir de este mismo trabajo, Yang y Thalmann introduce una fuerza para simular la naturaleza viscosa de la ropa [YAN93].

Intentando mejorar el proceso de fabricación, Okabe [OKA92] desarrolla un sistema interactivo de visualización dirigido a automatizar el proceso de manufactura tradicional de ropas. El usuario ofrece un esbozo 2D en el papel, que se digitaliza y entonces se mapea sobre

un objeto 3D (un modelo de maniquí se usa como base). El sistema forma inicialmente una estructura 3D que se asemeja a un cuerpo. Para añadir efectos de malla de ropa realista, el sistema formula las propiedades mecánicas de la ropa como ecuaciones de energía y usa la técnica de minimización para determinar la forma de la ropa en equilibrio. La estructura 3D con los efectos de pliegues se obtiene a través de un proceso de mapeo que genera un resultado más preciso.

En 1993, Li et al [LI93] consideran la situación particular de una pieza de ropa inmersa en un flujo de aire. La ropa se representa como una superficie impermeable formada por pequeños remiendos. Para encontrar las fuerzas en cada parte de la tela se calculan las medias y se determinan las fuerzas distribuidas en toda la tela. Las deformaciones en el tejido se producen por el uso de las fuerzas simuladas por el flujo de aire que se resuelve por el método de diferencias finitas presentado en [TER87].

Provot [PRO95] utiliza el clásico modelo de masa-muelle para simular ropa sobre superficies irregulares. En este trabajo los muelles representan la flexibilidad de la estructura, y usa las leyes de dinámica de Newton para la simulación del movimiento. En su trabajo observa que, cuando se simula una tela suspendida usando el modelo clásico, se producen deformaciones no realistas en los puntos salientes. Para reducir este efecto se puede aumentar la rigidez, pero esto requeriría más iteraciones para llegar a la solución. Este problema se resuelve poniendo un límite máximo de un 10% a la deformación del muelle.

Hadap et al [HAD00] describen, en el 2000, un método para simular pliegues realistas en ropas sin usar mallas finas ni computación elevada. Teniendo en cuenta que la mayoría de las deformaciones de ropas se forman por ondas, esto puede ser visto como un área de conservación de las propiedades del tejido. La formulación de esta área de conservación permite al método modular un patrón de los pliegues usados. La metodología utilizada es facilitada por el uso de pequeñas deformaciones en la superficie rígida y una malla más gruesa para la simulación numérica; esto crea una simulación rápida y robusta. Además, la habilidad para diseñar pliegues permite un método versátil para la generación de imágenes sintéticas.

En el año 2002, Melis [MEL02] presenta un trabajo de simulación de ropa en tiempo real en un ambiente virtual interactivo, estableciendo un compromiso entre el coste computacional y la estabilidad numérica. Esto se hace utilizando un sencillo modelo de masa-muelle. Esta aplicación muestra que el desempeño en tiempo real se puede alcanzar usando métodos que trabajan con restricciones y detección de colisiones, demostrando los aspectos interactivos de simulación.

En 2003, Bridson et al [BRI03] presentan un estudio donde se combina el comportamiento y la apariencia de la ropa, siempre buscando mejorar el realismo. Las contribuciones incluyen un método implícito/explicito de integración de tiempo en la escena, trabajando un modelo físicamente correcto con ángulos de reposo diferentes de cero para formar pliegues, mejorando el nivel de detalle en las regiones de contacto de la ropa. La principal finalidad del trabajo de Bridson es permitir la simulación de ropas usando un gran número de dobles y pliegues de forma realista.

Más recientemente, en el año de 2004, Nadia Thalmann et al [THA04] describen técnicas para modelar personajes humanos vestidos y cargarlos en escenas de Realidad Virtual para la simulación en tiempo real; cada fase del modelado y simulación se analiza prestando especial atención a posibles dificultades y sus soluciones. Se simula la ropa con una malla segmentada sobre el modelo del cuerpo completo. Este método combina la velocidad de la deformación de cuerpos segmentados y de cuerpos completos. Para cargarse en escenas de Realidad Virtual la ropa se divide en varias secciones donde se aplica diferentes algoritmos.

5. Técnicas Híbridas

Los modelos híbridos surgieron con la intención de ofrecer mejoras a las técnicas ya existentes, buscando un resultado más realista con bajo coste computacional. Estas técnicas combinan métodos físicos y geométricos, aprovechando lo más eficiente de cada uno de los métodos.

En 1990, Rundomin [RUN90] sugiere reducir el tiempo de computación requerido usando un modelo geométrico como condición inicial, y utilizando el modelo deformable de Terzopoulos [TER87] para refinar la forma. El método simula efectos de pliegues, envolviendo el objeto con la tela para determinar el casco convexo del objeto y mapeando esta parte superior de la tela en el espacio (un sencillo rectángulo 2D) y recortando los puntos que se encuentran en el exterior de la tela. Todos los puntos internos se recalculan para formar una capa de paño en 3D. De esta manera se proporciona una forma aproximada de los pliegues de una ropa.

Las ideas de Taillefer [TAI91] caracterizan los pliegues en una tela suspendida en dos tipos, horizontal y vertical. Los pliegues horizontales se modelan usando curvas cuaternarias mientras que los pliegues verticales se modelan usando un proceso de relajación semejante al de Weil [WEI86], pero con más restricciones externas. Estas restricciones incluyen estirar, doblar, efectos de gravedad y energía de auto-repulsión. Para reducir el tiempo de computación se trabaja con la relajación solamente fuera del contorno de los pliegues verticales.

Posteriormente, Tsopelas [TSO91] adopta una técnica híbrida para modelar arrugas y pliegues, donde la ropa se trata como tubos finos cilíndricos sujetos a fuerzas, y simula pliegues de ropas usando la teoría de deformaciones. Este proceso se centra en la región donde los pliegues son más aparentes, es decir, regiones con grandes curvaturas, como por ejemplo, detrás de las rodillas o en las zonas de la articulación en el cuerpo. Ese proceso permite transmitir los pliegues a lo largo de la tela.

En 1993, Dhande [DHA93] utiliza una superficie definida por barrido para modelar los efectos de pliegues de un tejido. La superficie generada es bi paramétrica, a partir de una generatriz y una curva directriz. Se aplica una fuerza elástica para simular las propiedades de torsión y los cortes. Esto hace posible abordar la construcción de pliegues sobre una superficie rígida. Sin embargo, con este método es muy difícil simular pliegues de ropas sobre objetos complejos.

En el trabajo de Vassilev et al [VAL01] se describe una técnica híbrida para animación de ropas en humanos caminando. El sistema está basado en un modelo de masa-muelle que aplica fuerzas elásticas a lo largo de las líneas de unión de la ropa; después de colocar el vestido en el cuerpo humano, se aplica una fuerza de gravedad para simular los efectos de la caída de la ropa mientras se camina. El trabajo realiza detección de colisiones por medio de mapas de profundidad en el espacio de la imagen.

Igarashi y Hughes [IGA03] presentan técnicas interactivas para colocar ropas en personajes 3D rápida e intuitivamente usando dispositivos de entrada 2D. Se modela la ropa de forma geométrica utilizando superficies, pero en un segundo momento se utilizan simulaciones basadas en la física para generar imágenes y animaciones realistas. De este modo, la interfaz se utiliza para explorar varias configuraciones de ropas durante el proceso. El usuario hace marcas en puntos de la ropa determinados y marcas correspondientes en el cuerpo del personaje, y en poco segundos el sistema desplaza la ropa al cuerpo del personaje con las correspondientes marcas hechas. La segunda técnica consiste en arrastrar superficies, y sirve para ajustar la ropa que ya está puesta en el cuerpo: permite poner una marca para pegar alguna parte de la ropa durante el arrastre.

Los trabajos citados en este informe son piezas importantes que reflejan el trabajo que se ha estado desarrollando hasta el momento, sin embargo no cubren la totalidad de las investigaciones desarrolladas en el mundo de la computación gráfica. Otros trabajos interesantes en modelado geométrico, físico o híbrido pueden encontrarse en la literatura apropiada [ASC96] [VOL98b] [HOU00] [DUR04].

6. Conclusiones

El modelado y la simulación de la ropa han recorrido un largo camino desde 1980 y han contribuido con su interdisciplinariedad y vistosidad al desarrollo de la Informática Gráfica. Hoy, después de un periodo superior a 20 años, es posible decir que existen aún muchas líneas que siguen abiertas, aunque han alcanzado grandes y satisfactorios resultados en ese tiempo.

Hay que reconocer que alrededor de los años 90, los métodos de modelado y animación de ropas y su uso en personajes animados no eran muy realistas y consumían bastante tiempo de cálculo. Ya en el 2000, se han logrado métodos más veloces y buenas herramientas para construcción de ropas para ser utilizados en personajes de una manera más efectiva, eficiente y realista.

En las películas de animación hace algunos años, se trabajaba con personajes vestidos con la ropa pegada al cuerpo, pues así no necesitaban comprometerse con la animación de las mismas. Actualmente, la nueva generación de películas presenta un gran salto en ese sentido, pues además de introducir personajes vestidos con ropas más holgadas, consiguen resultados plenamente satisfactorios visualmente. Las técnicas comentadas aquí muestran parte de la evolución que se ha desarrollado en el campo de la computación gráfica, más precisamente en las investigaciones en ropa digital.

En general, las técnicas geométricas producen formas satisfactorias, pero no fieles, que simulan la apariencia de la ropa, permitiendo cierto control intuitivo sobre la selección de parámetros, teniendo la ventaja de poseer un tiempo de ejecución más corto. Sin embargo, las técnicas físicas descritas intentan modelar fielmente las propiedades reales de la ropa, ellas normalmente comprenden una serie de ecuaciones diferenciales y la búsqueda de la energía mínima. Algunos parámetros físicos se expresan mejor en la forma de energía y otras se expresan mejor como fuerzas. La naturaleza de la aplicación dirige, consecuentemente, a la elección entre estas dos formas de representación física.

Teniendo en cuenta que los productores de tejidos y textiles necesitan una descripción exacta de la ropa y que para las animaciones y simulaciones es necesario un modelo que produzca resultados rápidos y satisfactorios, en la simulación de los comportamientos de una pieza de ropa, surge una pregunta: ¿es posible obtener un modelo adaptable que satisfaga ambos mundos? Esta es aún una cuestión abierta. Las técnicas híbridas unen las ventajas de las dos técnicas anteriores. En general, emplean una técnica geométrica para determinar formas aproximadas para simulación de ropas y, posteriormente, usan una técnica física para mejorar el realismo del modelado.

En las técnicas actuales de representación y visualización de tejido faltan medios para que los diseñadores de moda puedan especificar sus requerimientos. Los modelos digitales podrían ayudar a visualizar sus ideas durante el proceso de desarrollo, dando muestras de la simulación de sus creaciones.

Es conveniente destacar que el campo de la Informática Gráfica, con todas sus líneas de investigación, ha avanzado mucho en los últimos tiempos y a una gran velocidad. Más precisamente, el área de modelado y simulación de ropas, viene ganando un fuerte impulso en la última década, estimulado por el crecimiento del cine de animación, por la modernización del mundo de la moda y por los avances tecnológicos. Eso hace con que se pueda creer que en un futuro no muy distante sea posible un alto grado de integración del realismo visual con la exactitud física.

Aunque todavía hay mucho por trabajar y el camino es largo, este trabajo pretende servir de punto de partida para la búsqueda de nuevas técnicas y métodos para el modelado, simulación y animación de ropas. En la búsqueda para conseguir que una ropa posea un aspecto más realista, una de las áreas abiertas de investigación es la simulación del desgaste natural que sufren todas las ropas reales, visto que determinados lugares se desgastan más que otros, como las rodillas y los codos o bajo los brazos. Allí donde una prenda se desgasta, las fibras son finas y eso afecta a los pliegues y movimientos de la ropa. Para que la ropa sea realista será necesario simular efectos tales como suciedad, el envejecimiento, las grietas o los rasguños. Sin embargo, esta es un área relativamente nueva en comparación con otras y no hay muchos trabajos que se dediquen a estas técnicas, por lo tanto se prevé que hay grandes posibilidades de que se comience a investigar más en este campo.

7. Referencias Bibliográficas

- [AGU90] AGUI T., NAGAO, Y., NAKAJIMA, M. – "An Expression Method of Cylindrical Cloth Objects – An Expression of Folds of a Sleeve using Computer Graphics," *Trans. Soc. of Electronics, Information and Communications*, Vol. J73-D-II, No.7, pp.1095-1097, 1990.
- [ASC96] ASCOUGH, J., BEZ, H.E., BRICIS, A.M., "A Simple Beam Element, Large Displacement Model for the Finite Element Simulation of Cloth Drape." *J. Textile Institute*, Vol. 87, Part. 1, No 1, pp. 153-165, 1996.
- [BRI03] BRIDSON, R., MARINO, S., y FEDKIW, R., "Simulation of Clothing With folds and Wrinkles" – EuroGraphics/SIGGRAPH 2003.
- [DAU01] DAUBERT, Katja; LENSCH, Hendrik P.A.; HEIDRICH, Wolfgang e SEIDEL, Hans-Peter; "Efficient Cloth Modeling and Rendering" – University of British Columbia.
- [DES99] DESBRUN, M., SCHRODER, P., BARR. A., "Interactive Animation of structured deformable objects", *Proceedings of Graphics Interface 1999*, pp 1-8.
- [DHA93] DHANDE, S.G., "Geometric Modelling of Draped Fabric Surface," *Proc. IFIP Int'l Conf. of ComputerGraphics*, North-Holland, Amsterdam, pp. 349-356, 1993.
- [DUR04] DURUPINAR, F. – "A 3D Garment Design and Simulation System" July 2004 – Master's Thesis – Institute of Engineering and Science of Bilkent University.
- [GRO95] GRÖLLER, EDUARD., RAU, RENÉ T., STRABER, WOLFGANG – "Modelling and Visualization of Knitwear", *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp 302-310, 1995.
- [HAD00] HADAP, SUNIL; DANGERTER, ENDRE; VOLINO, PASCAL; THALMANN, NADIA M. "Animating Wrinkles on Clothes. – University of Geneva, Switzerland – Swiss National Research Foundation, 2000.
- [HOU00] HOUSE, DONALD H., BREEN, DAVID E. – "Cloth Modeling and Animation", pp 306-307, 2000.
- [IGA02] IGARASHI, TAKEO – HUGHES, JOHN F., – "Clothing Manipulation", *Proceedings of ACM UIST 2002*, ACM, 91-100.
- [IGA03] IGARASHI, TAKEO – HUGHES, JOHN F., "Clothing Manipulation", *ACM 2003*, p 697.
- [KUI90] KUNII, T.L., GOTODA, H., "Modelling and Animation of garment Wrinkle Formation Process," *Proc. Computer Animation, Visual Computer*, Vol 6, No 6, Springer-Verlag, Berlin, pp. 131-147, 1990.
- [KUN90] KUNII, T.L., GOTODA, H. "Singularity Theoretical Modeling and Animation of Garment Wrinkle Formation Processes", *The Visual Computer*, 6 – 326-336, 1990.
- [LI05] LI, LING; y VOLKOV, VASILY – "Cloth Animation with Adaptively Refined Meshes" – 28th Australian Computer Science Conference, The University of Newcastle Vol. 38 – 2005.
- [LI93] LI, L., DAMODARAN, M., GAY, R.K.L., "A Quasi-Steady Force Model for Animating Cloth Motion," *Proc. IFIP Int'l Conf. on ComputerGraphics*, Holland, Amsterdam, pp. 357-363, 1993.
- [MEL02] MELIS, Paul P. C., "Real-Time Cloth Simulation in a 3D Virtual Environment" – University Twente – Faculdade de Informática [Tesis] – Agosto de 2002.
- [OKA92] OKABE, H., "Three-Dimensional Apparel CAD System," *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, Vol 26(nº 2), pp. 105-110, July 1992.
- [PRO95] PROVOT, X., "Deformation Constraints in a Mass-Spring Model to Describe Rigid Cloth Behavior," *Proc. of Graphics Interface*, pp. 147-154, 1995.
- [PRO95a] PROVOT, X., "Personal Communication" April, 1995.
- [RUN90] RUNDOMIN, I.J., "Simulating Cloth using a Mixed Geometry-Physical Method," *Doctoral Dissertation*, Dept. of Computer and Information Science, Univ. of Pennsylvania, 1990.
- [SAK91] SAKAGUCHI, Y., MINOH, M., IKEDA, K. "Party: Physical Environment of Artificial Reality for Dress Simulation (I) – A Dynamically Deformable Model of Dress," *Trans. Soc. of Electronics, Information and Communications*, pp. 25-32, Dec 1991.
- [SEI94] SEILER-BALDINGER, ANNEMARIE. – "Textiles: A classification of Techniques", *Smithsonian Institution Press*, Washington, D. C., 1994.
- [TAI91] TAILLEFER, F., "Mixed Modelling," *Proc. CompuGraphics*, pp. 467-478, 1991.
- [TER87] TERZOPOULOS, D., "Elastically Deformable Models," *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, Vol 21(nº 4), pp 205-214, July 1987.
- [TER88] TERZOPOULOS, D., FLEISCHER, K., "Deformable Models," *Visual Computer – Vol 4*, pp 306-331, 1988.
- [THA91] M-THALMANN, N., YANG, Y., "Techniques for Cloth Animation". *New Trends in Animation and Visualization*, N. M-Thalmann and Y. Yang, eds., John Wiley & Sons, UK, pp. 243-256, 1991.
- [THA04] M-THALMANN, N., CORDIER, FREDERIC; SEO, HYEWON; PAPAGIANAKIS, GEORGE; "Modeling of Bodies and Clothes for Virtual Environments". *MIRALab*, University of Geneva Centre Universitaire d'Informatique.
- [TSO91] TSOPELAS, N., "Animating the Cumpling Behavior of Garment," *Proc. 2nd EuroGraphics WorhShop on Animation and Simulation*, Blackwell, UK, pp. 11-24, 1991.
- [VAL01] VASSILEV, T., SPANLANG, B., CHRYSANTHOU, Y., "Fast Cloth Animation on Walking Avatars", *EuroGrapics 2001 – Vol. 20 – nº 3*, 2001.
- [VOL00] VOLINO, P., MAGNENAT-THALMANN, N., "Virtual Clothing Theory and Practice", *Springer-Verlag* 2000.
- [VOL94] VOLINO, P., THALMANN, NADIA M., "Efficient Self-Collision Detection on Smoothly Discretised Surface Animations using Geometrical Shape Regularity", *Computer Graphics Forum (EuroGraphics Pro.)* 13(3), pp155-156, 1994.
- [VOL98] VOLINO, PASCAL, THALMANN, NADIA M., "Collision and Self-Collision Detection Efficient and Robust Solutions for Highly Deformable Surfaces" – *MIRALAB – University de Geneva – 1998*.
- [VOL98b] VOLINO, PASCAL, THALMANN, NADIA M., "Interactive Cloth Simulation: Problems and Solutions" – *MIRALAB – University de Geneva – 1998*.
- [WEI86] WEIL, JERRY. "The synthesis of Cloth Objects" – *Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 20(4):49-53. 1986.
- [YAN93] YANG, Y., THALMANN, NADIA M., "An Improved Algorithm for Collision Detection on Cloth Animation with Human Body" – *Proc. of Pacific Graphics*, World Scientific Press, Singapore, pp. 237-251, 1993.