

Augmented Tattoo: *a proposal of tattoo visualization in augmented reality*

Jairo Calmon

Mestrado em Ciência da
Computação
Universidade Estadual de Feira de
Santana – Bahia - Brazil
jairocalmon@ecompu.uefs.br

João Queiroz

Instituto de Artes e Design
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora – Minas Gerais - Brazil
queirozj@pq.cnpq.br

Claudio Goes, Angelo Loula

Departamento de Ciências Exatas
Universidade Estadual de Feira de
Santana – Bahia – Brazil
cegoes@gmail.com
angelocl@ecompu.uefs.br

Abstract—Technologies that aim user immersion in a synthetic environment have been used for various purposes. One such technology is Augmented Reality (AR) that allows the user to view the surrounding environment with overlap and composition of virtual objects, creating new ways of computer interaction. One of the objects for such virtual interactions is the human body. The human body is also an element that undergoes real physical changes, a common cultural practice for centuries, and one of the ways of expression through body modification is tattoo. Here we describe an AR system for visualization of tattoos on skin surface, following the body surface deformations. The system uses a few small markers to obtain a 2D model of skin surface. Results show that the system is able to overlay an augmented tattoo on the skin even with distortions and occlusions of markers.

Keywords—augmented reality; tattoo;

I. INTRODUÇÃO

Tecnologias gráficas desenvolvidas para imergir o usuário em ambientes sintéticos, de diferentes formas e em diferentes níveis, têm sido utilizadas para as mais diversas finalidades, como, medicina, educação, terapia, entretenimento, robótica, entre outros [1]. A Realidade Aumentada (RA) permite ao usuário a visualização do mundo real a sua volta, através da sobreposição e composição de objetos virtuais modelados por computador. Aplicações de RA complementam a realidade, ao invés de tentar substituí-la [1], a partir da visualização em tempo real de um mundo real físico que foi “melhorado” através da adição de informação gerada por computador [2].

As interações entre o mundo real e o virtual, em aplicações de Realidade Aumentada são praticadas, na maioria das vezes, de forma não intrusiva. Existem, por outro lado, antigas práticas culturais, exercidas há muitos séculos, de intervenção em camadas epiteliais do corpo humano [3]. São muitos os tipos de intervenções praticadas no corpo, incluindo as mais populares e recentes, como a tatuagem e o *piercing*, e também são diversas as motivações para tais práticas. Tal popularidade é confirmada através de dados que estimam que 23% dos americanos e 21% dos canadenses possuem pelo menos uma tatuagem. Estima-se ainda que estas pessoas consomem em

tatuagens, somente nos Estados Unidos, a quantia de 1.65 bilhão de dólares por ano [4].

Este artigo descreve um sistema de Realidade Aumentada para visualização de tatuagens virtuais na pele, que acompanha a superfície do corpo humano. É, portanto, uma forma de exploração de novas interfaces aliada à motivação dos indivíduos para modificarem seus corpos. Esta nova forma de tatuagem – virtual – permite abordagens dinâmicas, e mesmo iterativas e multimodais, através de animações e vídeos, além da possibilidade do usuário trocá-la quando desejar.

A próxima seção apresenta uma discussão sobre tatuagem, tecnologias envolvidas e trabalhos relacionados. A seção III descreve a metodologia utilizada, descrevendo a especificação e restrições do projeto do sistema e também as etapas da aplicação proposta. A seção IV apresenta os resultados obtidos, e, por fim, as considerações finais são apresentadas.

II. TECNOLOGIA E TATUAGEM

Intervenções físicas na superfície do corpo constituem práticas observadas em diversas culturas e são motivadas por várias razões. Na última década, a popularidade das tatuagens e *piercings* aumentou dramaticamente, tanto em termos numéricos quanto em relação ao espectro de classes sociais de seus usuários [3]. As motivações para realizar intervenções corporais por meio de tatuagem são diversas. Um estudo descrito em [3] definiu algumas categorias motivacionais que descrevem os impulsos dos indivíduos para modificar o corpo: beleza, arte e moda; narrativa pessoal; tolerância física; afiliação a grupos e comprometimento; resistência; espiritualidade e tradição cultural; vício; e motivação sexual.

De forma simplificada, uma tatuagem é uma inscrição invasiva na segunda camada da pele (derme), através de repetidas micro-incisões. Portanto, abordagens no desenvolvimento de tatuagens devem ter como base o seu suporte, a pele. Após um longo período sem mudanças significativas de concepção e aplicação tecnológicas, novos aparatos tecno-científicos começaram a emergir, permitindo, por exemplo, o uso de dispositivos epiteliais dinâmicos, isto é, artefatos intencionalmente inscritos ou anexados à pele nos

quais a aparência é potencialmente modificada no tempo [5]. Estes projetos estão associados com a pesquisa de novos dispositivos biotecnológicos, bem como a síntese de novos materiais e aplicações tecno-científicas. Algumas dessas novas tecnologias permitem, por exemplo, a leitura de variações de estados orgânicos (por exemplo, endócrino) criando novas formas de relações interpessoais e novos padrões de comunicação (*embodied communication*).

A. Realidade Aumentada e Tatuagem

Realidade Aumentada (RA) é definida como a visualização em tempo real direta ou indireta de um mundo físico que foi “ampliado” através da adição de informação gerada por computador [2]. As aplicações práticas decorrentes da tecnologia são diversas, uma vez que os objetos virtuais adicionam ao mundo real informações que o usuário não pode perceber diretamente. Assim, as informações transmitidas pelos objetos virtuais podem ajudar o usuário a executar tarefas muito diversas, entre as quais pode-se citar: visualização médica, entretenimento, publicidade, manutenção e reparo, anotação, planejamento de rota, entre outros [2].

Trabalhos acadêmicos na área de RA envolvendo a visualização de tatuagens através da detecção da superfície da pele não foram encontrados nas buscas do tema. Mas alguns projetos comerciais e aplicativos para dispositivos móveis foram encontrados. Nestes casos é tatuado um marcador, ou a própria tatuagem do usuário é utilizada; então a aplicação detecta e sobrepõe um objeto animado virtual, como o projeto ThinkAnApp¹. Tais projetos são similares aos de detecção realizados em cartões, a diferença sendo apenas relativa a natureza da superfície em uso. Assim, o objeto virtual é apenas posicionado de modo a flutuar sobre a pele, sem qualquer deformação ou integração com a superfície.

O uso de projeções em realidade aumentada sobre a pele pode ser observado em muitos campos de pesquisa como, por exemplo, em medicina. Nicolau et al. [6], por exemplo, apresentam um sistema de RA para auxílio em procedimentos médicos no fígado. É possível identificar similaridades importantes entre esta aplicação e nosso trabalho. Em contraste, uma considerável diferença encontra-se no fato da aplicação médica basear-se em um ambiente bastante controlado e fazer uso de dispositivos de captura sofisticados, caros e de uso restrito, como a tomografia computadorizada.

III. METODOLOGIA

Enquanto muitos trabalhos utilizam a pele apenas como a superfície que porta um cartão a ser detectado para a aplicação de RA, propomos uma abordagem capaz de identificar as deformações da pele, de modo que uma tatuagem virtual se ajusta para acompanhar tais deformações.

No projeto do sistema, diversas restrições e especificações foram consideradas. A aplicação resultante pode ser utilizada por diversos usuários em ambientes não controlados ou preparados. Deve-se permitir visualização em tempo real,

utilizando imagens capturadas por uma câmera monocular, executada em dispositivos móveis e posteriormente em dispositivos vestíveis. Para reconhecer as deformações da pele, é necessário analisar o conteúdo da imagem em busca de informações que permitam extrair a pose de determinadas superfícies bem como possíveis deformações. A detecção da superfície da pele neste trabalho foi obtida, então, através do registro 2D proveniente da detecção e identificação de marcadores *ad hoc* adicionados à pele. Apesar desta estratégia exigir a modificação da pele (através da inscrição do marcador), esta foi considerada a mais adequada pelo baixo custo computacional de análise da imagem, preservação da textura da pele, tolerância em relação a oclusões e facilidade de remoção da cena.

O atual desenvolvimento da aplicação é realizado em um ambiente *desktop*, facilitando a realização de testes e experimentos. Foram utilizadas as bibliotecas de visão computacional OpenCV, juntamente com as bibliotecas gráficas OpenGL.

As várias etapas de processamento do sistema proposto, estão representadas no diagrama da Fig. 1. O processo tem início com a aquisição da imagem, conversão de espaço de cores e obtenção da máscara de segmentação de pele. Em seguida o processo de detecção de marcadores é realizado através dos processos de detecção de bordas e de componentes conexos, a partir dos quais é possível identificar (ou presumir) o posicionamento de cada um dos marcadores. Com a informação da posição de cada marcador, é construída uma malha com a textura da tatuagem escolhida em uma imagem, na qual será aplicada a máscara de segmentação de pele de modo a tornar invisível as partes que não estão sobre a pele. Os marcadores são removidos da imagem original e então a tatuagem pode ser sobreposta. Por fim, a imagem composta é exibida. As seções a seguir descrevem em maiores detalhes cada uma das etapas.

A. Segmentação de Pele

Nessa etapa, a intenção é separar a pele de todo o ambiente circundante, para que a identificação dos marcadores presentes na pele seja facilitada, eliminando possíveis *outliers* presentes na imagem original (Fig. 3-a) que dificultariam o processo. O resultado da segmentação também é utilizado na sobreposição da tatuagem como máscara que impede a tatuagem de ser exibida em partes que não correspondam à pele.

O resultado desejado dessa etapa é uma máscara binária que informa se determinado pixel é considerado pele ou não (Fig. 3-c). Para realizar tal segmentação de pele foi utilizado o espaço de cor HSV, sendo dada a opção ao usuário de selecionar uma pequena área circular na imagem na tela, como amostra representativa de sua pele, como forma de calibração da segmentação (Fig. 3-b). A partir dessa informação de amostra de pele, é calculada a média (M) e desvios padrões (σ) dos canais de matiz (H) e saturação (S), suficientes para realização satisfatória da segmentação de pele.

A segmentação é obtida automaticamente pela seleção dos pixels que possuem valores entre a média e uma margem de tolerância de 4 desvios-padrão para os canais H e S. Para os casos nos quais o usuário seleciona uma área extremamente

¹ Veja notícia Dybwad [7], B. Augmented Reality Tattoo Makes Your Skin Come Alive, FEB 17, 2010. <<http://mashable.com/2010/02/17/augmented-reality-tattoo/>

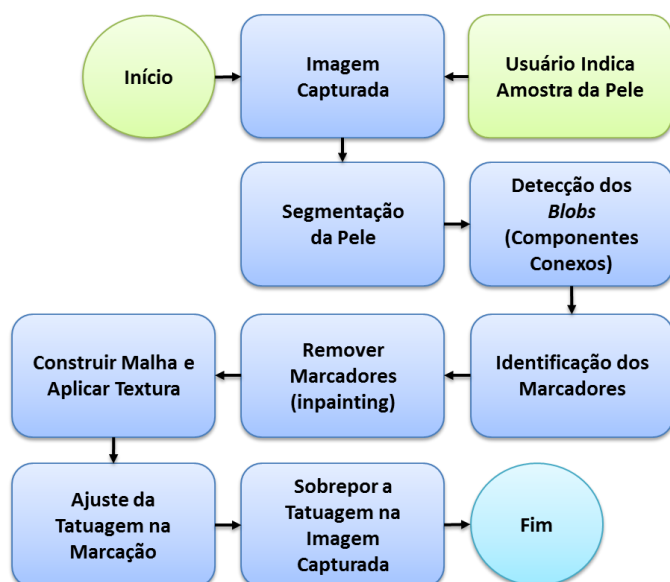


Fig. 1. Diagrama com fluxo de ações executadas neste sistema.

uniforme, com pouca variabilidade nos canais H e S, o desvio padrão terá pouca variação, e ao invés de serem utilizados quatro desvios-padrão como margem de tolerância, um valor mínimo predeterminado de margem por canal é utilizado neste caso.

Nessa etapa também são aplicados os operadores de dilatação e erosão [8] para eliminar pequenos ruídos. Estes procedimentos são realizados através da convolução de um elemento estruturante na imagem e foram úteis para refinar os resultados obtidos. Filtros de média e desfoque também foram úteis para eliminar pequenos ruídos e tornar os contornos da imagem de máscara mais suave (Fig. 3-c).

B. Marcadores e Detecção

Os marcadores são utilizados para obter informações sobre a forma da superfície na qual foram aplicados. Para o sistema proposto, foi utilizada uma grade regular de marcadores de pequeno tamanho (Fig. 2), uma vez que são marcadores simples de serem inseridos na pele (utilizando uma caneta, por exemplo) e ocupam pouca área em relação à superfície na qual é sobreposta a tatuagem, facilitando o processo de eliminação deste marcador na composição final. Além disso, a detecção é relativamente simples e permite tratar oclusões ou falhas na detecção. Além do conjunto regular de marcadores circulares são usados marcadores especiais, de forma a se obter a orientação dos marcadores e possibilitar a obtenção do modelo da superfície mesmo com oclusões parciais de alguns marcadores.

O processo de detecção destes marcadores tem início através da detecção de bordas da imagem, utilizando uma versão monocromática da imagem capturada e máscara de segmentação de pele já aplicada, para eliminar possíveis outliers (Fig. 3-d). Este processo é realizado utilizando o detector de bordas de Canny [9] que consegue identificar variações bruscas entre os pixels vizinhos (Fig. 3-e).

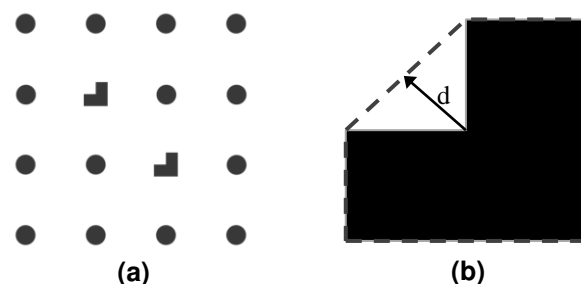


Fig. 2. (a) Conjunto de marcadores utilizados. Note a presença de dois marcadores especiais no centro. (b) Representação do marcador especial em formato de “L” (sólido) juntamente com seu *convex hull* (tracejado) e a representação em forma de vetor “d” do chamado “defeito de convexidade”.

Em seguida são aplicados alguns operadores morfológicos na (Fig. 3-f) e então um algoritmo de detecção de *blobs* [10] é executado.

C. Identificação e Registro de Marcadores

A etapa anterior obtém como resultado um conjunto de *blobs* com possíveis outliers. No entanto, para identificar o conjunto de marcadores desejados são verificadas as relações de distância e área dos *blobs*, de modo a achar o agrupamento que tem mais possibilidade de ser um conjunto de marcadores de interesse, eliminando eventuais outros *blobs*. Como resultado temos o conjunto de *blobs* que representam o conjunto de marcadores visíveis.

A partir dos marcadores detectados, são identificados os dois marcadores especiais. Para isso, verificamos os marcadores que possuem a menor solidez (*solidity*), correspondente à área do *blob* sobre a área do seu *convex hull* [11]. Como os marcadores normais são círculos, a solidez tende a ser unitária, uma vez que as áreas são coincidentes. Os marcadores especiais possuem um formato de “L”, deixando seu *convex hull* com área significativamente maior, e consequentemente seu valor de solidez menor e facilmente identificado.

Uma vez identificados os dois marcadores especiais em formato de L, podemos obter sua orientação através da análise dos defeitos do *convex hull*. Porém, ainda não é possível distinguir um marcador especial do outro. Para isso, é realizada a comparação entre o vetor dos defeitos e o vetor entre os marcadores obtidos.

Com a informação dos dois marcadores especiais e a orientação do conjunto de marcadores, é possível associar cada *blob*-marcador com sua respectiva posição relativa na grade (Fig. 3-h). Para isso, é presumida uma possível localização na imagem do marcador, baseada nas posições dos marcadores já identificados (utilizando interpolação/extrapolação linear), do centro da grade para as bordas. A partir desta localização presumida, procura-se qual marcador encontra-se mais próximo deste local, com distância não maior que a metade da menor distância possível entre os *blobs*.

Nos casos onde não há oclusão dos marcadores, espera-se que a busca do marcador no raio informado seja bem sucedida, de forma que podemos atribuir a correspondência entre o

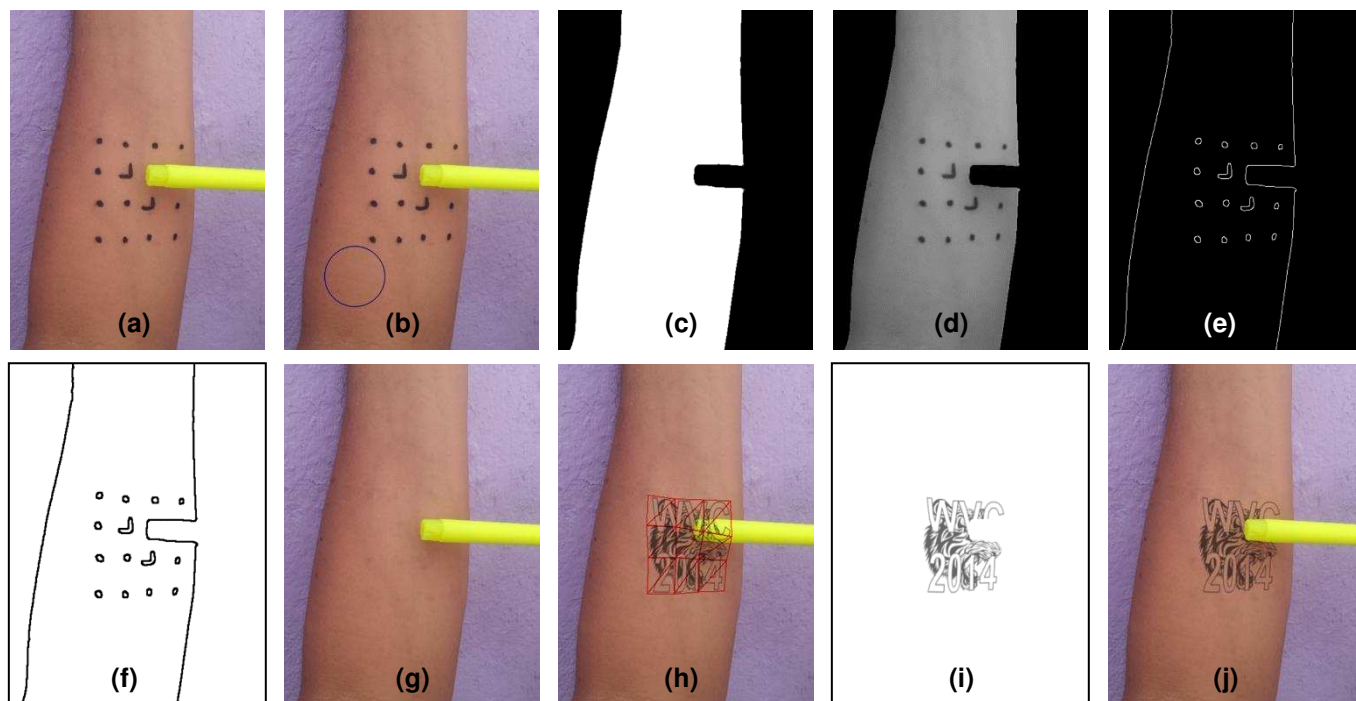


Fig. 3. Diagrama do fluxo de ações executadas pelo programa. (a) Imagem original de um braço com marcadores capturada pela câmera. (b) Usuário calibra o sistema através da seleção de uma amostra de pele. (c) Segmentação de pele utilizando os valores de média e desvios-padrão dos canais matiz e saturação obtidos no processo de calibração. (d) Máscara de segmentação aplicada à imagem monocromática. (e) Detecção de bordas através do filtro de Canny. (f) Aplicação de filtros morfológicos sobre a imagem de detecção de bordas. (g) Processo de remoção de marcadores através da técnica *inpainting*. (h) Deformação aplicada na tatuagem de acordo com a posição dos marcadores (o *wireframe* é mostrado para evidenciar a deformação). (i) Corte da tatuagem de acordo com a máscara de segmentação de pele. (j) Superposição da imagem da tatuagem.

marcador identificado e a sua posição relativa na grade. Porém, nos casos de oclusão, a busca em tal raio pode não encontrar o marcador procurado, de forma que a informação de posição presumida é utilizada para representar tal *blob*. Isso permite a construção da malha que modela a superfície da pele mesmo sem a identificação de todos marcadores. Dessa forma, obtêm-se o registro da grade completa, ainda que extrapolando a área demarcada como pele pelo processo de segmentação. Ressalta-se que a aplicação requer que pelo menos os dois marcadores especiais estejam visíveis.

D. Construção da malha

Para obter um modelo 2D da superfície da pele, construímos uma malha de triângulos utilizando OpenGL utilizando a posição dos marcadores (identificados e previstos) como vértices da malha. Este processo consiste em relacionar, a cada frame, a posição de cada vértice às coordenadas do centro de massa de seu respectivo marcador.

No processo de construção da malha, o mapeamento UV (representação 2D do mapeamento da superfície 3D) é realizado e a textura da tatuagem, escolhida pelo usuário, é atribuída à malha. Dessa forma, temos uma malha em OpenGL que será renderizada para obtenção da tatuagem com as mesmas deformações da superfície da pele.

A renderização deste processo é feita separadamente, não sobrepondo diretamente à imagem original, gerando uma imagem a parte, uma vez que precisamos tratar o caso de

possíveis oclusões, além de realizar o processo de mesclagem, que pode envolver mais que uma simples sobreposição.

E. Oclusões

Como resultado da etapa anterior, temos a imagem de uma malha renderizada com os vértices nas posições correspondentes aos seus respectivos marcadores. Partes da região de pele delimitada pela grade podem não estar visíveis na imagem original devido a oclusões. Assim, a imagem da tatuagem resultante deve também considerar esta restrição, não exibindo a tatuagem em áreas que não correspondam à pele.

Uma vez que se deseja aplicar a tatuagem apenas sobre a superfície da pele, passamos a utilizar a máscara obtida no processo de segmentação de pele, que já indica as regiões com pele visível na imagem original, para cortar a parte desejada da imagem da tatuagem. O resultado é mostrado na Fig. 3-i.

F. Remoção de Marcadores

Uma das etapas que precede o processo de sobreposição da imagem da tatuagem, porém, é o procedimento de exclusão dos marcadores da imagem original. Isto é necessário para aprimorar o resultado final, uma vez que a tatuagem a ser inserida pode possuir áreas vazadas e tais marcadores podem prejudicar a visualização. Para realizar a remoção de tais marcadores utilizamos a técnica *inpainting*, disponível no *OpenCV*, que tem como objetivo restauração de pequenas partes em imagens [12].

A técnica de *inpainting* utiliza informação de vizinhança das áreas a serem restauradas para determinar a aparência da área a ser restaurada. No nosso sistema, as áreas restauradas são as áreas correspondentes aos marcadores, os quais são excluídos da imagem original, nesta etapa, com substituição pela textura da pele, disponibilizando uma nova imagem para sobreposição da tatuagem (Fig. 3-g).

G. Sobreposição da Tatuagem

Nesta etapa, a imagem da tatuagem é sobreposta à imagem original obtida, com as devidas deformações e limites da superfície da pele aplicadas, de modo a fornecer a percepção de que a tatuagem encontra-se na superfície da pele e acompanha seu contorno (Fig. 3-j). A descrição da tatuagem é feita através de uma imagem que é composta, na maioria dos casos, por uma parte totalmente transparente (vazada). Além dessa transparência, ao aplicar a tatuagem sobre a pele, uma operação de mesclagem é aplicada à parte opaca da imagem, de forma a não eliminar completamente a textura da pele nessas áreas. Esta mesclagem foi realizada utilizando uma multiplicação ponderada entre as imagens.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos para avaliação do sistema foram executados conforme a metodologia descrita na Seção III. Nessa seção serão apresentados os resultados de alguns testes realizados em condições variadas de modo a avaliar alguns dos possíveis casos de uso da aplicação. A Fig. 4 mostra a imagem de tatuagem utilizada para realização dos testes.

Inicialmente realizamos alguns testes considerando os casos mais simples para nossa aplicação (Fig. 5-a). Nessa situação, temos o plano de fundo uniforme com suficiente contraste, facilitando a segmentação de pele. Também temos uma clara visualização de todos os marcadores através de um ponto de vista frontal. Além disso, existe pouca deformação entre os marcadores, reduzindo a possibilidade de erros no processo de detecção. A ausência de oclusão também colabora para a obtenção de um resultado final sem erros.

Em seguida, foram testadas as oclusões com, basicamente, duas possibilidades para aplicação: a oclusão proveniente da própria superfície da pele relativa ao posicionamento da câmera; e a oclusão referente a algum corpo interposto entre a pele e a câmera. Realizamos alguns testes (Fig. 5-b) utilizando a superfície do braço como exemplo. Em seguida, foi colocada uma caneta sobre os marcadores para produzir uma oclusão (Fig. 5-c).

Alguns tipos de distorções possíveis também foram testadas. Um dos testes foi realizado através da modificação da posição da câmera em relação aos marcadores (Fig. 5-d e Fig. 5-e). Com isso, pequenas distorções de perspectiva são introduzidas, podendo dificultar o processo de detecção de marcadores. Em um outro teste (Fig. 5-f), forçamos a deformação na superfície de maneira não linear para verificar a robustez do algoritmo em detectar as mais diversas superfícies.

Condições adversas de iluminação também podem produzir erros em diversas etapas do processo. Ambientes com pouca iluminação, por exemplo, tendem a causar ruídos e



Fig. 4. Imagem de tatuagem a ser sobreposta na pele

borramentos (*motion blur*) na imagem como resultado da tentativa de compensação automática realizada pela câmera. Alguns testes foram realizados variando a condição de iluminação, como mostrado nas diversas situações da Fig. 5. A Fig. 5-g mostra também a aplicação em um ambiente externo.

Outro fator importante levado em consideração foi a adequação da aplicação para funcionar com qualquer tonalidade de pele. O processo de calibração através de amostragem trata dessa questão na etapa da segmentação de pele. De maneira semelhante, a detecção dos *blobs* a partir da detecção de borda apenas exige que os marcadores tenham alto contraste, e não uma cor específica. Estes dois fatores tornam o sistema mais robusto e não faz limitações baseadas nas características da pessoa. Porém, outras características podem influenciar a detecção do sistema, como a presença de pelos e marcas, por exemplo. As Figuras 5-h, 5-i e 5-j mostram alguns testes realizados em peles diferentes.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema está sendo inicialmente realizado para ambiente *desktop* para facilitar a pesquisa e investigação de soluções. Porém, um dos propósitos é gerar um produto que funcione em ambientes móveis e posteriormente em dispositivos vestíveis. Finalizada a implementação dessa primeira etapa, o sistema será portado e avaliado em dispositivos móveis.

De outra perspectiva, este projeto antecipa o que pode ser considerado uma modificação radical do papel semiótico da pele como nicho de processamento de informação e linguagem. Seu desenvolvimento, e proliferação, podem, rápida e facilmente, alterar o que conhecemos como “comunicação incorporada” (*embodied communication*). A pele, e seu “novo” *layout* e interface, permitirá a exploração de novos padrões de comunicação. Mais especulativamente, novas modalidades de relações interagentes devem ser estabelecidas devido à criação de novos padrões de comunicação, associados ao uso de dispositivos de RA epiteliais (*augmented tattoos*).

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESB pelo apoio a esta pesquisa.



Fig. 5. Testes realizados sob diversas condições. (a) Imagem capturada frontalmente e sem oclusões. (b) Oclusão identificada no braço com alguns marcadores não visíveis. (c) Oclusão de um objeto sobreposto. (d, e) Imagem com distorções de perspectiva. (f) Deformação provocada na superfície da pele. (g) Teste realizado em ambiente externo com mais iluminação. (h, i, j) Testes realizados em peles de tonalidades diferentes e características diferentes.

REFERÊNCIAS

- [1] Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence-Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4).
- [2] Furht, B. (2011). *Handbook of augmented reality*.
- [3] Wohlrab, S., Stahl, J., and Kappeler, P. M. (2007). Modifying the body: Motivations for getting tattooed and pierced. *Body image*, 4(1):87–95
- [4] Faille, M. and Edmiston, J. (2013). Graphic: The tattoo industry. <http://news.nationalpost.com/2013/08/16/graphic-the-tattoo-industry/>.
- [5] Bitarello, B., Fuks, H., and Queiroz, J. (2011). New technologies for dynamic tattoo art. In *Proceedings of the fifth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, TEI '11*, pages 313–316, New York, NY, USA. ACM.
- [6] Nicolau, S., Pennec, X., Soler, L., and Ayache, N. (2005). A complete augmented reality guidance system for liver punctures: First clinical evaluation. *Medical Image Computing*, pages 539–547.
- [7] Dybwad, B., (2010). *Augmented Reality Tattoo Makes Your Skin Come Alive*. <http://mashable.com/2010/02/17/augmented-reality-tattoo/>
- [8] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2006). *Digital Image Processing* (3rd Edition). Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.
- [9] Canny, J., *A Computational Approach To Edge Detection*, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 8(6):679–698, 1986.
- [10] Suzuki, S. and Abe, K., *Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following*. *CVGIP* 30 1, pp 32-46 (1985)
- [11] Russ, J. C. (2010). *The image processing handbook*. CRC press.
- [12] Telea, A. (2004). An Image Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method. *Journal of Graphics, GPU, and Game Tools* 9 1, pp 23-34.