**Human Skin Characterization and Analysis based on Hyperspectral Reflectance using Machine Learning**

**Abstract:**

Skin, the largest and multi-functional organ of human body, has always been an important research object in many fields, such as cosmetics and computer graphics. Its appearance especially color can reflect certain diseases, such as melanoma and vitiligo, which has been widely investigated. In the past, we obtain the skin physiological information by biopsy. This method is usually invasive and takes long time. Recently, the inner information can be derived non-invasively benefiting from skin hyperspectral diffuse reflectance. However, it is still a challenging task since the accuracy and the efficiency cannot be ensured at the same time in applications. For example, the gold standard Monte Carlo method gives favorable estimations but costs much time. This thesis aims to build a detailed skin model and apply it for faster non-invasive determination of skin components. Moreover, an auxiliary method based on this model can identify the presentation attacks at high precision.

Our skin model is composed of three sub-layers: the epidermis, the dermis and the subcutis. We first implement a GPU-based Monte Carlo method to reconstruct a skin diffuse reflectance database based on our skin model. The wavelength is randomly taken in the visible light range from 450 to 700 nm. Then, this database is used for training a forward artificial neural network to map optical parameters calculated from our skin model and skin diffuse reflectance. We compare the skin diffuse reflectance reconstructing capacity of forward network and Monte Carlo method, and find that they match well each other. It takes 19 ms for the forward network to reconstruct a reflectance spectrum for 450 to 700 nm with 1 nm interval. However, it takes 337 s for Monte Carlo method. Besides this, we analyze the impact of each skin parameters on reconstructed reflectance and then apply this forward network combined with a curve-fitting algorithm to extract skin parameters using NIST skin database. The results show that the forward network has acceptable accuracy for melanin, blood and oxygen saturation without limitations to fix the thickness of skin sub-layers. And the forward network method costs an average of 17 seconds to finish the extraction process. An inverse network, random forest and support vector regression are also studied. As shown in previous research, inverse networks have large errors in extracting skin parameters but at extremely high speed. In our research, we generate a skin diffuse reflectance database using proposed forward network instead of Monte Carlo method to reduce time cost. Two types of dimensionality reduction methods: low variance filter and principal component analysis are applied for further speeding up. The experiments show that the inverse net- work works better in extracting melanin content than random forest and support vector regression and has similar results to inverse Monte Carlo. Moreover, it only takes around 10 min to train the inverse network after having used dimensionality reduction methods and 12 ms to extract melanin content for one spectrum.

As for the presentation attacks detection, we use two metrics RMSE and STD of fitting performance to classify if the object diffuse reflectance belongs to skin. By selecting the appropriate wavelength range, it has promising classification results. The vulnerability of face recognition system has been discussed a lot while detecting presentation attacks, especially the silicon face masks. Our method uses hyperpspectral reflectance to identify the non-skin objects because the absorption coefficients of several skin pigments are unique. We will collect more hyperspectral skin images and generalize our method for practical applications.

**Keywords**: Biomedical informatics, presentation attack detection, hyperspectral reflectance, artificial neural network, Biomedical signal processing

**Caractérisation et analyse de la peau humaine basées sur la réflectance hyperspectrale à l'aide de l'apprentissage automatique**

**Résumé :**

La peau, organe le plus large et multifonctionnel du corps humain, a toujours fait l’objet d’importante recherche dans de nombreux domaines, tels que les cosmétiques et l’infographie. Son aspect et en particulier sa couleur peut indiquer certaines pathologies, comme le mélanome et le vitiligo qui ont été largement étudiées. Jusqu’à présent les informations physiologiques cutanées étaient uniquement obtenues par la biopsie. Cette méthode généralement invasive qui est loin d’être instantanée. Récemment, cette caractérisation peut être faite de manière non invasive à partir de la réflectance diffuse hyperspectrale de la peau. Néanmoins, la difficulté reste toujours d’allier la précision et la complexité temporelle dans les applications. Par exemple la méthode de référence, Monte Carlo, qui donne des estimations précises coûte cher en temps de calcul. Cette thèse vise à construire un modèle détaillé de peau et à l’appliquer pour une estimation non invasive et plus rapide de ses constituants. En outre, une méthode auxiliaire basée sur ce modèle permet d’identifier les attaques de présentation avec une grande précision. Notre modèle de peau est composé de trois sous-couches : l’épiderme, le derme et l’hypoderme. Nous avons d’abord implanté une méthode de Monte Carlo basée GPU pour reconstruire un corpus de données de réflectance diffuse de la peau à partir de notre modèle de peau. La longueur d’onde est prise au hasard dans la gamme de lumière visible de 450 à 700 nm. Ensuite, ces données sont utilisées pour entraîner un réseau de neurones artificiels afin de correspondre aux paramètres optiques calculés à partir de notre modèle de peau la réflectance diffuse de la peau. La comparaison des performances montre que les deux approches, la nôtre et la méthode Monte Carlo, donnent des résultats très voisins. En outre, il faut seulement 19 ms à notre réseau pour reconstruire un spectre de réflectance de 450 à 700 nm avec un intervalle de 1 nm. Alors qu’il faut 337 s pour la méthode Monte Carlo. Nous avons aussi analysé l’impact de chaque paramètre de peau sur la réflectance reconstruite, puis avons appliqué ce réseau, combiné à un algorithme d’ajustement de courbe, pour extraire les paramètres de la peau à l’aide de la base de données NIST. Les résultats montrent que notre approche a une précision acceptable pour la saturation en mélanine, en sang et en oxygène sans limitation d’épaisseur des sous-couches cutanées. Le coût moyen de notre méthode d’extraction est de 17 secondes. Aussi, un réseau de neurones, une forêt aléatoire et une machine à vecteurs de support pour la régression sont également étudiés. Les réseaux neuronaux utilisés dans une configuration inversée produisent de grandes erreurs dans l’extraction des paramètres de la peau mais à une vitesse extrêmement élevée. Dans notre recherche, nous générons une base de données de réflectance diffuse de la peau en utilisant le réseau direct proposé au lieu de la méthode de Monte Carlo pour réduire le coût en temps. Deux types de méthodes de réduction de dimensionnalité : un filtre à faible variance et une analyse en composantes principales sont appliqués pour l’accélérer davantage. Les expériences montrent qu’en extraction de la teneur en mélanine, ce réseau surclasse la forêt aléatoire et la machine à vecteurs de support pour la régression, mais obtient des résultats similaires à ceux de la méthode Monte Carlo. De plus, une dizaine de minutes suffisent pour former le réseau inverse, après avoir utilisé des méthodes de réduction de dimensionnalité et 12 ms pour extraire la teneur en mélanine pour un spectre donné. Finalement, quant à la détection des attaques de présentation en reconnaissance faciale, nous utilisons deux métriques, RMSE et STD, l’ajustement de courbe de réflectance et notre réseau neuronal Skin-Net pour décider si la réflectance diffuse enregistrée appartient à la peau. Des résultats de classification prometteurs sont obtenus en sélectionnant la gamme de longueurs d’onde appropriée. La vulnérabilité des systèmes de reconnaissance faciale face à l'évolution des attaques de présentation, en particulier les masques en silicone, a suscité un vif intérêt au cours de la dernière décennie. Notre approche qui utilise la spécificité des pigmentations cutanées et de leurs coefficients d’absorption pour identifier les objets non cutanés à partir de leur réflectance s’inscrit dans ce contexte. Une généralisation de notre approche visant des applications pratiques s’appuiera sur une collection plus large d’images hyperspectrales de peau.

**Mots clés**: Informatique biomédicale, détection d'attaque de présentation, réflectance hyperspectrale, réseau neuronal artificiel, traitement du signal biomédical