

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ УЧАСТКОВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ 3D-СКАНЕРОВ HANDYSCAN 3D REVSCAN И KONICA MINOLTA VI-910

© 2012 г. В. О. Тишкин*, аспирант; Е. В. Разина**

* Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна, Санкт-Петербург
E-mail: tiviol@gmail.com

Описана методика объемного сканирования участков тела человека на примере рук мужчины и женщины с использованием устройств ручного и стационарного типов. Изложен алгоритм обработки полученных на основании сканирования данных.

Ключевые слова: бесконтактные лазерные 3D-сканеры, скан, электронная копия, антропометрия руки и кисти руки, размерный признак.

Коды OCIS: 100.6890, 230.2090.

Поступила в редакцию 17.02.2012.

Введение

Технология трехмерного сканирования является одной из передовых в создании электронных копий физических объектов. Однако применяя ее, мы не только получаем широкие возможности в процессе создания моделей без привычного нам 3D-моделирования в специализированных программных пакетах, но также сталкиваемся и с определенными трудностями. Разнообразие существующих объектов, доступных для 3D-сканирования, диктует необходимость разработки различных алгоритмов регистрации их поверхностей и методик обработки “сырых” данных.

Сложность объекта съемки зависит от таких факторов, как объемность (полно- или неполнообъемный), тип и детализация его поверхности.

Тело человека является одним из самых сложных объектов для 3D-сканирования. Тело человека – это полнообъемный объект с однородной поверхностью, но самым важным фактором, влияющим на сложность создания его электронной копии, является его достаточно высокая подвижность.

В настоящее время активно развивается направление 3D-моделирования тела человека и его отдельных участков. 3D-манекены (авата-

ры), а также 3D-копии участков тела человека проектируются в CAD-системах на базе

- данных антропометрического обмера [1, 2];
- ориентирования на координаты узловых точек в пространстве, которые задаются произвольно;
- данных оцифровки некоторых антропометрических точек на поверхности тела человека и данных его антропометрического обмера [3–5];
- данных 3D-сканирования гипсовых слепков верхних или нижних конечностей тела человека [6];
- моделирования тела человека и его отдельных участков [7–8].

Наиболее перспективными являются последние два варианта разработки “аватаров” или 3D-копий участков тела человека. Однако 3D-сканирование с помощью бесконтактных устройств оцифровки поверхностей сложно-профильных объектов позволяет получать максимально точную информацию о форме и размерах тела человека и его отдельных участков и, следовательно, является более достоверной.

Исследование в области современных технических устройств, проведенное нами ранее, позволило выделить 3D-сканеры бесконтактного типа, применяемые для оцифровки участков тела человека. К таким приборам относятся следующие:

- бесконтактный лазерный сканер компании Cyberware (сканирующий блок WB4);
- лазерный 3D-сканер ScanWorX производства Human Solutions GmbH;
- лазерные сканеры MicroScribe 3D Laser Systems™;
- бесконтактные сканеры корпорации Konica Minolta серии VIVID (например, сканеры VI-910 и VI-9i);
- бесконтактные лазерные сканеры REV и EXAscан компании Creaform;
- фотосканер для стопы FotoScan 3D™ Foot Scanner компании Precision 3D;
- бесконтактный лазерный сканер для стопы 3D Foot Scanner компании Elinvision.

Для проведения практических исследований, с целью оцифровки поверхностей тела человека и дальнейшего создания их электронных копий, нами были выбраны следующие модели сканеров: Handyscan 3D REVscan и Konica Minolta VI-910. Доступность, удобство использования, достоверность получаемой информации, точность этих моделей определили наш выбор в их пользу.

Авторами были проведены практические исследования объектов сложной формы (плеча, предплечья и кистей рук мужчины и женщины) с целью их оцифровки с использованием 3D-сканеров бесконтактного типа. В результате были получены трехмерные модели рук в статическом (рис. 1 и 2) и динамическом (рис. 3 и 4) состояниях. Методика применения



Рис. 1. 3D-модель мужской руки в статике.

технологий 3D-сканирования с целью получения точных электронных копий участков тела человека на примере рук подробно изложена далее в настоящей работе.

1. Этапы получения цифровых моделей руки мужчины и руки женщины

1.1. Предплечье и плечо

Оцифровка поверхности плеча и предплечья рук проводилась с помощью бесконтактного лазерного сканера Handyscan 3D REVscan канадской компании Creaform [9, 10].

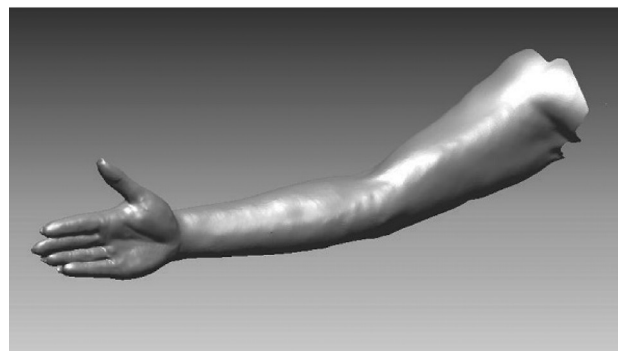


Рис. 2. 3D-модель женской руки в статике.

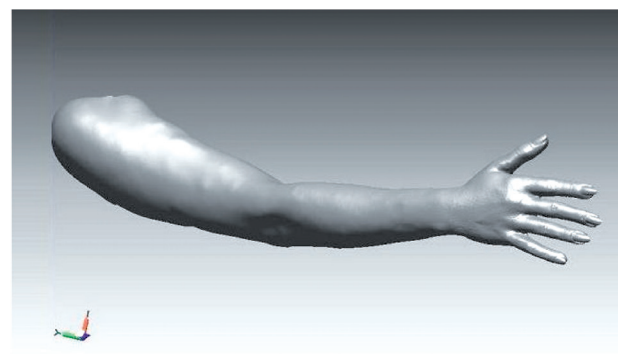


Рис. 3. 3D-модель женской руки в динамике (пальцы разведены до порога напряжения).

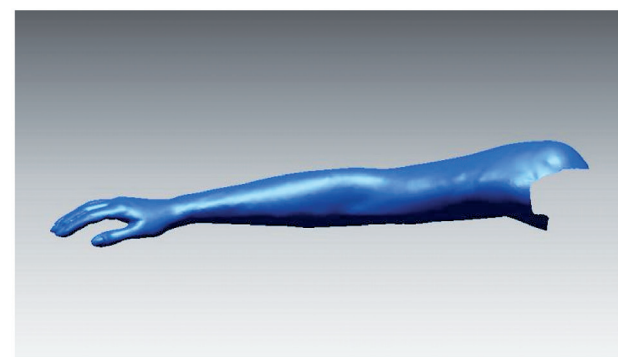


Рис. 4. 3D-модель женской руки в динамике (кисть руки в полусогнутом положении).

Данный прибор работает по принципу размещения на поверхности объекта сканирования специальных светоотражающих маркеров, при регистрации которых 3D-сканер формирует единую систему координат и таким образом может производить оцифровку объекта. Фиксированное расположение маркеров, создающих единую систему координат, позволяет оператору перемещать сканер во время процедуры регистрации поверхности сложной формы, что влечет за собой возможность получения полных трехмерных копий без дополнительной сборки-сшивки отдельных элементов [9, 10].

При сканировании однородных поверхностей данный прибор дает хорошее качество сетки трехмерной модели. Настройка производится в программном обеспечении устройства за счет изменения объема виртуального куба, в котором происходит регистрация трехмерных координат поверхности объекта. Точность лазерного сканера составляет 100 мкм [9, 10].

Сложная форма и высокая подвижность объекта требуют особого подхода к регистрации координат поверхности. В нашем случае светоотражающие маркеры были размещены с высокой плотностью (на расстоянии не более 2–3 см друг от друга) по всей поверхности. Таким образом, с одной стороны, была получена единая система координат, а с другой – достигнута минимальная погрешность съемки (возникающая от микродвижений рук) вследствие плотного расположения маркеров.

После этого в программном обеспечении было задано разрешение сканирования, которое в данном случае должно было быть не менее 2–2,5 мм (расстояние между ближайшими вершинами полигонов*). Меньшее разрешение соответствует большей чувствительности сканера и вследствие подвижности руки приведет к искажению поверхности электронной модели.

В дальнейшем элементы сессии сканирования были экспортированы в программное обеспечение RapidForm 2006, Inus Tech., Inc., что позволило перейти к обработке полученного материала.

1.2. Кисть

Оцифровка поверхностей кистей рук проводилась с помощью бесконтактного лазер-

* Полигоны – это участки плоскости треугольной или четырехугольной формы, представляющие собой элементарные ячейки объемной модели.

ного сканера VI-910 производства японской корпорации Konica Minolta. Сканирование поверхности устройствами Konica Minolta происходит поракурсно, как при использовании обычного фотоаппарата, с тем различием, что прибор дает объемную “фотографию”, т. е. – скан [9, 11]. Термин “скан” является аналогом термина “снимок” в фотографировании, но ввиду принципиальной разницы получаемых данных (двумерное фотоизображение в фотографировании и трехмерная копия определенной площади поверхности в 3D-сканировании) в данном случае корректнее применять термин “скан”.

Объем данных, получаемых в процессе оцифровки объекта, в технологии 3D-сканирования определяется количеством сканов и их весом.

Принцип работы приборов Konica Minolta состоит в следующем: луч, испускаемый встроенным в 3D-сканер источником, после прохождения через оптическую систему устройства отражается от поверхности объекта и регистрируется матрицей-приемником. При этом регистрируемая часть объекта позиционируется в электронном пространстве относительно сканера, т. е. прибор является нулем координат. При таком подходе объект необходимо последовательно снимать с разных ракурсов и далее собирать в специальных программных пакетах для получения его полной трехмерной копии [9, 11, 12].

Одним из важнейших факторов качества электронных копий является плотность полигональной сетки или, иначе говоря, размер одного полигона. В зависимости от настроек сканера и использования той или иной линзы на одном и том же приборе можно получить разное качество регистрируемой поверхности. С целью получения достоверных копий кистей рук в процессе сканирования мы использовали среднюю (middle) линзу. С одной стороны, она позволяет получать бóльшую плотность при меньших площадях захвата по сравнению с широкоугольной (wide), с другой стороны, использование телелинзы (tele) было неоправданно, так как она дает чрезмерно высокую плотность облака точек и описывает поверхность кисти руки вплоть до чешуек кожи. В нашем случае в этом не было необходимости.

Сканирующее устройство устанавливали на ровную твердую поверхность, благодаря чему обеспечивали его стационарность. Далее задавали фокусное расстояние (факти-

чески – расстояние от поверхности объекта сканирования до прибора), которое должно быть минимально возможным, но обеспечивающим нахождение в поле видения сканера всей кисти (в нашем случае оно соответствовало 640 мм). Интенсивность лазерного луча и чувствительность воспринимающей матрицы устанавливались на уровне 15–20 и 0 соответственно (безразмерные величины в программном пакете Polygon Editing Tool, поставляемом в комплекте со сканером; ноль чувствительности – это минимум). Такое значение чувствительности было оптимально, так как сканируемая поверхность достаточно светлая. По той же причине более высокого значения интенсивности не требуется. Ввиду наличия волос на поверхности кисти руки меньшее значение интенсивности не допустимо.

Процесс сканирования заключался в поэлементной регистрации объекта по частям со всех сторон, при этом было необходимо контролировать заполнение “затененных” участков, секторов. Регистрация следующей части поверхности объекта проводилась таким образом, чтобы была некоторая общая площадь с уже снятой частью. В результате были получены сканы поверхности кистей рук мужчины и женщины.

В процессе оцифровки объектов в рабочее поле сканера попадались посторонние предметы, которые он также захватывал в кадр (например, поверхности, на которых располагались кисти рук). Такие предметы называются “шумы съемки”, и после получения необходимого количества сканов объекта оператору нужно их удалять.

Результаты сессии сканирования были сохранены по отдельности с целью их дальнейшей сборки в единые 3D-копии рук мужчины и женщины.

2. Получение цельных электронных копий рук мужчины и женщины

Для того чтобы получить единые электронные копии объектов сложной формы (в данном случае – рук), была необходима и проводилась сборка полученных данных (совмещались воедино набранные количества сканов плеча, предплечья и кистей рук), а также обработка данных с использованием программного обеспечения RapidForm 2006, Inus Tech., Inc. Совмещение проводилось по общей поверхности,

отснятой как на Handyscan 3D REVscan, так и на Konica Minolta VI-910.

Процесс получения цельных моделей-копий включал в себя несколько этапов.

1) Сопоставление сканов. Сканы соответствующих кистей рук, мужской и женской, не были сгруппированы относительно друг друга, как в случае оцифровки поверхностей плеча и предплечья рук, поскольку в процессе съемки не использовались позиционирующие маркеры, создающие единую систему координат. Поэтому, для того чтобы получить цельные копии рук, необходимо было получить достоверные копии тыльных и ладонных поверхностей кистей. С этой целью мы применяли в пакете RapidForm 2006 процедуру “Initial” [13]. Эта процедура предусматривает сопоставление двух сканов, имеющих общую поверхность. Таким образом, нами проводилась попарная группировка элементов по трем контрольным точкам.

2) Математический расчет сопоставления. Поскольку при соединении сканов возможны локальные погрешности, возникающие при наложении одного скана на другой, была необходима и использовалась функция “Fine” [13] в RapidForm 2006, чтобы их избежать. Эта функция обчисляет форму поверхности одного скана относительно формы поверхности другого для последующего более точного их соединения. Таким образом, по команде оператора программа автоматически анализировала рельеф поверхностей и оптимизировала взаимное расположение фрагментов сессии сканирования. Функция “Fine” особенно важна при работе с цельнотрехмерными объектами. Ее использование позволяет избежать общей погрешности соединения на всей модели.

3) Удаление пересечений. При соединении отдельных сканов возникают места больших площадей наложения двух или более поверхностей. Такие места необходимо удалять, во-первых, для освобождения пространства памяти, а следовательно, для уменьшения времени на обработку программой тех или иных действий, и, во-вторых, для того чтобы избежать возможных ошибок (при наложении одной поверхности на другую) во время процедуры сшивания в единое целое. Удаление пересечений проводилось оператором вручную в программном обеспечении RapidForm 2006.

4) Сшивка. Процедура сшивки “Merge” [13] в RapidForm 2006 позволяет соединить два

или более сканов в единое целое. Разработанный нами алгоритм предполагает сшивание всего комплекса сопоставленных между собой сканов после проведения вышеописанных процедур, что, в отличие от попарного сшивания сканов [14], существенно экономит время.

Таким образом, получение цельной модели копии подразумевает соединение полученных ранее сканов в единое целое. В результате проведенных операций на экране монитора формируется объемная копия реального объекта. Естественно, что такие копии имеют определенные отклонения от исходной модели, вызванные погрешностью прибора, но нивелируемые дальнейшей обработкой.

5) **Обработка отверстий.** После получения цельных копий рук мужчины и женщины мы обнаружили на их поверхностях различного рода погрешности, например, недостающие части (дыры) и искажения вследствие программных ошибок. Исправлением этого комплекса недочетов оператор занимался далее, используя функцию “Fill holes” в программе RapidForm 2006 [13].

6) **Сглаживание.** Процедура сглаживания “Smooth” [13], предусмотренная в программе RapidForm 2006, позволила убрать шероховатости поверхности компьютерных копий рук, возникшие либо за счет погрешностей сканеров, либо вследствие специфики сканируемых поверхностей. С другой стороны, являясь, по сути, функцией деформации, “сглаживание” дало возможность исправления программных ошибок, возникших во время сшивания.

7) **Пересчет полигональной поверхности.** Применение функции “Remesh” [13] программы RapidForm 2006 позволило перестроить структуру полигональной поверхности, чтобы придать ей однородный вид. Это было необходимо с точки зрения облегчения расчетов центрального процессора компьютера и, как следствие, уменьшения времени на проведение операций над 3D-моделями. С другой стороны, вследствие процедуры пересчета исчезли большие полигоны, которые появились на гранях, острых или отрицательных углах поверхностей моделей рук. Это позволило получить однородные полигональные структуры, обработку которых можно было далее вести более тонко.

8) Кроме вышеописанных функций, в процессе обработки данных сканирования также использовалась процедура “ручного” перемещения отдельных элементов “Shell Track-



Рис. 5. Несоответствие сканов ладонной (слева) и тыльной (справа) поверхностей кисти руки.

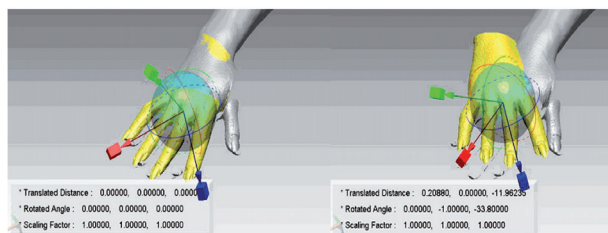


Рис. 6. Применение процедуры “Shell Trackball”.

ball” [13], предусмотренная в программном обеспечении RapidForm 2006. Сопоставление отсканированных ладонных и тыльных поверхностей кисти руки позволило нам выявить локальные несоответствия сканов, которые явились следствием высокой подвижности костей в лучезапястном, запястно-пястных, пястно-фаланговых и межфаланговых суставах. Эти несоответствия хорошо видны в рабочей зоне пальцев на рис. 5. Применение процедуры “Fine” не позволяет решить данную проблему целиком, поэтому необходимо перемещение сканов “вручную”.

Процедура “Shell Trackball” позволяет перемещать объекты в трех направлениях, а также вращать их в трех плоскостях, что дает оператору возможность сопоставления двух отдельных элементов в процессе сборки сканов (рис. 6).

Заключение

Предложенная методика 3D-сканирования объектов сложной формы с использованием бесконтактных лазерных сканеров Handyscan 3D REVscan и Konica Minolta VI-910 позволяет получать электронные модели участков тела человека. Характерной особенностью

этой методики является возможность работы с живыми объектами [15, 16] без использования неподвижных слепков [6]. Разработанный алгоритм сборки позволяет избежать погрешностей съемки без использования дополнительных устройств или инструментов [16–18]. Дальнейшая обработка поверхностей объектов сканирования позволяет повысить качество получаемых моделей-копий. За счет реализации предложенного нами алгоритма

- уменьшена шероховатость поверхности, вызываемая погрешностью прибора;
- получены модели без характерных искажений поверхности на стыках “сканов”;
- получены модели, имеющие однородную полигональную сетку.

С помощью разработанной нами методики возможно получение цифровых объемных моделей-копий в статическом и динамическом состояниях как отдельных частей, так и всего тела человека.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Digital hand family based on hand anthropometry. Digital Human Research Center, AIST [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dh.aist.go.jp/en/research/centered/2004HandDim/>
2. Greiner T.M. Hand Anthropometry of US Army Personnel. U.S. Army Natick Research. Development and Engineering Center // Natick: MA. 1991. № 5. P. 98–109.
3. Rogers M.S., Barr A.B., Kasemsontitum B., Rempel D.M. A three-dimensional anthropometric solid model of the hand based on landmark measurements // Ergonomics. 2008. V. 51. № 4. P. 511–526.
4. Hidson D. Development of a Standard Anthropometric Dimension Set for Use in Computer-Aided Glove Design // DREO Technical Note 91–22, Defense Research Establishment OTTAWA. 1991. № 56. P. 51–66.
5. Lee S.W., Zhang X. Development and evaluation of an optimization-based model for power-grip posture prediction // Journal of biomechanics. 2005. № 38. P. 1591–1597.
6. Wonsup L., Sunghye Y., Heecheon Y. Development of a 3D semi-automatic measurement protocol for hand anthropometric measurement // In Proc. of the Human Factors and Ergonomics Society 54th Annual Meeting. 2008. № 54. P. 1672–1692.
7. Remondino F., Roditakis A. Human motion reconstruction and animation from video sequences // Proc. International Conference on Computer Vision. 2007. № 5. P. 180–188.
8. Remondino F. 3D reconstruction of static human body with a digital camera // Videometrics VII. Proc. SPIE. 2003. V. 5013. № 7. P. 38–45.
9. Неконтактное лазерное сканирование // Корпорация “Аметист”: 3D сканирование и моделирование. URL: <http://www.ametist.com/3d/> (дата обращения: 22.07.2011)
10. Handyscan 3D scanners // Creaform: 3D scanners. URL: <http://www.creaform3d.com/en/handyscan3d/products/default.aspx?v=a> (дата обращения: 18.07.2011)
11. Non-contact 3D Digitizer // Konica Minolta: 3D Measurement. URL: <http://www.konicaminolta.eu/measuring-instruments/products/3d-measurement.html> (дата обращения: 28.07.2011)
12. Тишкин В.О., Вершинин А.Н. Качество электронных копий физических объектов // Научно-технический вестник “Прикладные информационные технологии”. СПб.: СПГУИТМО. 2008. № 52. С. 69–72.
13. Тишкин В.О., Черепанова О.В. Объемное сканирование и моделирование // Научно-технический вестник “Современная физика. Труды молодых ученых”, СПб.: СПГУИТМО. 2007. № 37. С. 45–47.
14. Тишкин В.О. Методика сборки и обработки данных, полученных в процессе 3D-сканирования // Научно-технический вестник СПБГУИТМО. СПб.: СПГУИТМО. 2011. № 71. С. 87–93.
15. Han H., Nam Y. The suitability of 3-dimensional body scan method in measuring body surface area // Textile Science and Engineering. 2004. № 41(3). P. 223–229.

16. *Li Z., Chang C.C., Dempsey P.G., Ouyang L., Duan J.* Validation of a three dimensional hand scanning and dimension extraction method with dimension data // *Ergonomics*. 2010. 51(11). P. 1780–1784.
 17. *Ju X., Werghi N., Siebert J.P.* Automatic Segmentation of 3D Human Body Scans // *International Conference on Computer Graphics and Imaging*. 2000. № 12. P. 239–244.
 18. *Chang C.C., Li Z., Cai X., Dempsey P.* Error control and calibration in three-dimensional anthropometric measurement of the hand by laser scanning with glass support // *Journal of the International Measurement Confederatio*. 2007. № 40(1). P. 21–27.
-