

UREMENT 2009, Proceedings of the 7th International Conference, Smolnice, Slovakia. [Электронный ресурс]. URL: http://www.measurement.sk/M2009/proceedings/352_Petrik.pdf

3. Препарата Ф, Шеймос М. Вычислительная геометрия. Введение. Пер. с англ. – М. Мир. 1989 – 473 с.

4. Высогорец Я.В., Чемборисов Н.А. Блок-схемы определения отклонения от круглости // Современная техника и технологии. 2015. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/04/6498>

5. Привалов И.И. Аналитическая геометрия. М.: Наука, 1966 – 272 с.

УДК 621.7

Мартинов Г.М.¹, Мартинова Л.И.¹, Пушков Р.Л.¹, Евстафиева С.В.¹, Коваленко А.В.²

¹Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва

²ОАО «НИАТ», Москва

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОММЕРЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧПУ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ

В докладе рассмотрена схема системы управления аддитивным технологическим оборудованием. Предложен подход к расширению функциональных возможностей коммерческой системы ЧПУ для управления не только механообрабатывающим оборудованием, но и аддитивным технологическим оборудованием.

Аддитивные технологии, автоматизация, система ЧПУ, технологический процесс.

С позиции управления любое аддитивное технологическое оборудование можно представить в виде следующих компонентов (рис.): источник технологического воздействия, станочный комплекс и периферийное оборудование [2, 3].

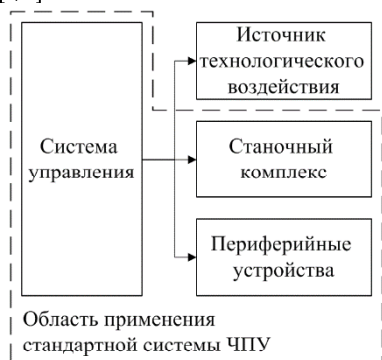


Рисунок. Схема системы управления аддитивным технологическим оборудованием

Источником технологического воздействия является устройство, оказыва-

ющее на исходный материал воздействие, приводящее к локальному изменению состояния исходного материала для последующего формирования изготавливаемой детали. Например, в SLM-технологии в качестве источника технологического воздействия используется лазерный источник, в EBM-технологии – электронно-лучевая пушка, в MJM-технологии – струйная печатающая головка.

Станочный комплекс также участвует в формообразовании изготавливаемой детали. Функцией станочного комплекса является взаимное позиционирование источника технологического воздействия и изготавливаемой детали относительно друг друга.

К периферийным устройствам относятся все остальные узлы и агрегаты технологического оборудования, не участвующие непосредственно в процессе формообразования детали. Например, к их числу относятся: станция подготовки и подачи защитного газа, устройство подачи исходного материала, система охлаждения и т.п.

В части управления работой станочного комплекса и периферийных устройств система управления аддитивным технологическим оборудованием полностью аналогична стандартной системе числового программного управления (ЧПУ), широко применяемой в механообрабатывающем технологическом оборудовании [2]. Одной из возможных схем реализации системы управления аддитивным технологическим оборудо-

ванием является её построение на базе коммерческой системы ЧПУ [8], использующей хорошо изученные механизмы управления станочным комплексом и периферийными устройствами [1].

Особенностью аддитивного технологического оборудования является источник технологического воздействия, требующий специфичных алгоритмов управления и обладающий собственным набором параметров – управляющих параметров. Данные параметры могут не полностью совпадать с технологическими параметрами – параметрами, записанными в технологической карте процесса.

По режиму работы управляющие параметры делятся на:

- интерполируемые – значение которых изменяется по заданному закону между кадрами управляющей программы [6];
- фиксированные – значение которых поддерживается постоянным на протяжении обработки.

По специфике управляющие параметры делятся на:

- геометрические – определяющие размеры и форму технологического воздействия;
- энергетические – определяющие количество энергии, подводимой в зону обработки за единицу времени.

Управление интерполируемыми параметрами источника технологического воздействия предполагает их синхронизацию с параметрами движения станочного комплекса. Например, управление мощностью лазера или силой тока электронного луча в зависимости от текущей контурной скорости (подачи). Возможно несколько решений при использовании коммерческой системы ЧПУ:

- с использованием открытой архитектуры ядра ЧПУ;
- с использованием интерфейса ЧПУ-ПЛК;
- с использованием внешнего устройства;
- с использованием внешнего интерполятора.

Решение на базе открытой архитектуры ядра ЧПУ является наиболее перспективным, однако в связи с отсутствием данной опции у подавляющего большинства производителей коммерческих си-

стем ЧПУ, его реализация не представляется возможной.

Решение на базе интерфейса ЧПУ-ПЛК предполагает передачу в программируемый логический контроллер (ПЛК) [7] параметра интерполяции движения на каждом такте интерполяции для последующей реализации управления интерполируемыми параметрами источника технологического воздействия в программе ПЛК. Такое управление будет запаздывать на один такт интерполяции, однако в большинстве случаев этим можно пренебречь.

Решение на базе внешнего устройства предполагает использование сетевого контроллера периферийных устройств [5], реализующего специфику управления источником технологического воздействия. Для ядра системы ЧПУ контроллер внешнего устройства выглядит как интеллектуальный привод (или набор приводов), которому на каждом такте интерполяции передаются текущие значения параметров интерполяции и текущее задание на исполнение.

Решение на базе внешнего интерполятора предполагает подключения к системе ЧПУ проприетарных устройств сторонних производителей, имеющих закрытое решение. Например, подключение лазера со сканатором, управляемого от автономного контроллера на плате PCI со своим собственным интерполятором. Синхронизация интерполятора системы ЧПУ с интерполятором автономного контроллера на плате PCI происходит по интервалу выполнения заданий.

Вне зависимости от решения, общим требованием к коммерческой системе ЧПУ является достаточное количество одновременно интерполируемых осей – в зависимости от сложности аддитивного технологического оборудования, достигающее 10 штук и более.

Список литературы

1. Коваленко А.В. Концепция универсальной системы ЧПУ для современного технологического оборудования // *Авиационная промышленность*, 2011, № 4. – С. 36-41.
2. Коваленко А.В. Универсальная система ЧПУ для аддитивного технологического оборудования и гибкой производственной системы //

Автоматизация в промышленности. – 2019. – № 5. – С. 35-37.

3. Мартинов Г.М., Коваленко А.В. Система управления аддитивным технологическим оборудованием для интеграции в гибкую производственную систему // Труды XXI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (ПУМСС-2019), Самара, 2019. – Том 1. – С. 358-363.

4. Elmar W., Marcel M., Marc R. (2015) Integration of real-time Ethernet in Linux CNC. *Int J Adv Manuf Technol* 78: 1837–1846. (<https://doi.org/10.1007/s00170-015-6786-y>).

5. Kovalev I., Nikishechkin P., Grigoriev A. (2017) Approach to Programmable Controller Building by its Main Modules Synthesizing Based on Requirements Specification for Industrial Automation. *International*

Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp. 1-4. (<https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2017.8076121>).

6. Nezhmetdinov R., Sokolov S., Obukhov A., Grigor'ev A. (2014). Extending the functional capabilities of NC systems for control over mechano-laser processing. *Automation and Remote Control*, 75(5), p. 945-952. (<https://doi.org/10.1134/S0005117914050129>).

7. Martinov G., Martinova L. (2010). Trends in the numerical control of machine-tool systems. *Russian Engineering Research*, 30(10), pp. 1041-1045. (<https://doi.org/10.3103/S1068798X10100175>).

8. Martinova L., Martinov G. (2018) Automation of Machine-Building Production According to Industry 4.0. In: 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications. Vladivostok, pp. 1-4. (<https://doi.org/10.1109/RPC.2018.8482165>).

УДК 681.2.08

Мастеренко Д.А., Скопцов Э.С.

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРСИИ ДЛЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСКОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ МИКРОПРОФИЛЯ ПОВЕРХНОСТИ

Разработан алгоритм построения огибающих при морфологической дисковой фильтрации, использующий преобразование плоскости, известное как инверсия, и сводящий задачу для окружности к задаче для прямой. Благодаря этому достигнуто ускорение вычислений по сравнению с ранее известным алгоритмом построения огибающих.

Морфологическая фильтрация, микропрофиль, шероховатость поверхности, инверсия.

Современные средства измерения позволяют получать данные о рельефе поверхностей изделий машиностроения с высоким разрешением [1,2]. В связи с этим особую роль приобретают различные процедуры фильтрации информации о поверхности [3,4]. Как отражение данной тенденции, в последние годы произошёл ряд изменений в подходах к нормированию и определению геометрических характеристик изделий как на макроуровне (отклонения размеров, формы и взаимного расположения поверхностей), так и на микроуровне (шероховатость) [5,6,7].

Серия международных стандартов (ISO 16610) посвящена различным способам фильтрации. В частности, дисковые морфологические фильтры [8] связаны с

построением семейств верхних и нижних огибающих, полученных посредством виртуального обкатывания профиля структурирующим элементом – кругом переменного радиуса. Поскольку эта процедура реализуется вычислительным путём, возможно обкатывание как сверху, так и снизу (как бы изнутри материала), и построение семейств верхних и нижних огибающих. Для практического применения морфологической фильтрации требуется разработка эффективных методов построения огибающих профиля, с помощью которых можно производить обработку измерительной информации в режиме реального времени.

В работе [9] рассмотрен алгоритм построения морфологического дискового фильтра для анализа шероховатости. Он позволяет проводить исследования микронеровностей поверхности с целью изучения влияния морфологических особенностей поверхности на ее функциональные свойства.

Однако при практическом применении данного алгоритма требуется довольно большой объём вычислений и, соответственно, относительно большое