

CNC LASER AS A WAY TO IMPLEMENT ADAPTIVE TECHNOLOGY

Hordii Aleksiienko¹

Received: 2021-11-28

Accepted: 2022-01-06

DOI: <http://doi.org/10.46489/gpj.2022-2-1-6>

Abstract. The article reveals the principles of using a laser in CNC as a way to implement adaptive technology. The mechanism of the introduction of modern adaptive technology on an industrial scale is described. The concept of the coordinate measuring machine as the most important general-purpose device for control of details of a difficult form in the industry is structured. It is emphasized that for the measurement of large complex parts, methods are used that are able to register the coordinates of a point with a range of measurements of several meters; the most common methods are laser interferometry, photogrammetry and laser radar. Each of the above methods describes in detail and substantiates the most relevant area of their application. A CNC laser system has been formed, which is able to measure the position of a complex workpiece shape, its dimensions and angle of rotation. The structure of the laser system is schematically shown, and the principle of operation is described. The general structure of the CNC system for laser processing control is offered, the feature of which is universality and the possibility to create control systems for different tasks on the basis of the general basic model. It is emphasized that the list of commands created by the interpreter when processing the control program is available to both the interpolator and the external control module, which provides both direct drive control and scanner control within a single control program. It is noted that in order to ensure the correct order of issuance of control signals to the drives, as well as to implement the possibility of direct control of both modules, the output added a ring buffer with structures containing information about both control and current status data for indication terminals. Each structure in the buffer has a timestamp, which allows some programs of this architecture to do without real-time mode for the interpolator. It is emphasized that the implementation of the described architecture allows using one CNC system for different technological tasks using a laser without significant changes in the system architecture. The sequence of execution of the control program is described in detail for a fuller understanding of the principle of operation of the system.

Keywords: laser, numerical program control, adaptive technology, machine, workpiece, complex shape.

¹ Hordii Aleksiienko, Specialist of “Mechanical Engineering” majoring in “Equipment for Processing and Food Facilities”, manufacturing engineer, Kharkiv state university of food technology and trade, LLC RPC «West Labs Ltd», Catherine st. 46, 61004 Kharkiv, Ukraine, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0757-757X>

ВСТУП

Основи завдань адаптивної технології лежать у встановленні зв'язку, який би визначав конфігурацію об'єкта в термінах раніше створених об'єктів, що є параметричним зв'язком, або встановленні неорієнтованого зв'язку між двома або більше об'єктами, що є варіаційним зв'язком. Сучасні моделюючі системи використовують варіаційні зв'язки для позиціонування деталей щодо один одного та параметричні зв'язки для визначення форми та розміру елементів окремих деталей. Однак, порядок, накладений параметричними зв'язками, обмежує гнучкість при зміні проекту, а порядок створення конструктивних елементів часто є довільним і згодом заважає внесенню змін до деталей. Перевизначення хронології операцій саме собою обмежене існуючими зв'язками: в такий спосіб, змінювати хронологію побудов можна лише в певних межах.

Застосування сучасної адаптивної технології дозволяє легко визначати розміри деталі та її форму в контексті складання без будь-яких непередбачених проблем взаємних зв'язків між деталями складання. Досягається це за рахунок виключення залежних параметричних зв'язків та використання замість них варіаційних зв'язків для визначення розмірів деталі, її форми та позиції у збиранні.

Вимірювання заготовок складної форми та положення вільоту у великих масштабах є як складним так і надзвичайно важливим завданням.

У промислових масштабах реалізація адаптивної технології на базі ЧПУ здійснюється за допомогою лазера, характеристики цих вимірів у контексті числового управління ґрунтуються на наступних принципах:

- розміри заготовок складної форми, що вимірюються, великі, від 5 до

30 метрів і навіть більше, а поверхні нерівні і уривчасті;

- вимога до високої точності вимірювання, кілька мільйонних часток, висока надійність та відтворюваність;
- швидкість виміру і простота експлуатації;
- вимірювальне середовище є складним та змінюваним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Формування наукової думки стосовно висвітлення питання системного підходу до застосування інноваційних технологій на базі верстатів з ЧПУ ґрунтується на роботах як зарубіжних так і вітчизняних вчених.

Шелепко та ін., (2017) розкрили шляхи підвищення вихідних характеристик багатокоординатних верстатів паралельної структури зі спеціальним робочим органом, шарніри якого мають спільну вісь, завдяки обґрунтуванню раціональної конструкції і геометричних параметрів верстата, а також шляхом цілеспрямованої зміни геометричних параметрів залежно від орієнтації робочого органу та виду обробки.

Болотян та Манойленко (2019) здійснили розробку токарно-фрезерного верстата на числовому програмному керуванні для виготовлення взуттєвих колодок шляхом модернізації токарного верстата з використанням крокових двигунів на осях та шпинделя ЧПК.

Забезпечення раціональних умов абразивного різання композиційних карбонових виробів на верстатах паралельної структури дослідили Kyrychenko & Al-Ibraheemi Metak Muhammad (2018). Робота автора присвячена вирішенню науково-прикладної задачі підвищення якості розрізання карбон-карбонових композиційних виробів на основі

встановлення закономірностей формування поверхневого шару при впливі абразивним інструментом за рахунок забезпечення раціональних умов різання маніпуляційною системою верстата паралельної структури.

Фролов та Пилипюк (2020) розкрили принципи віртуального базування асиметричних заготовок на токарному верстаті з ЧПК.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів використання лазера у ЧПУ як способу реалізації адаптивної технології залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи використання лазера у ЧПУ як способу реалізації адаптивної технології.

РЕЗУЛЬТАТИ

Найважливішими приладами загального призначення для контролю деталей складної форми в промисловості є координатно-вимірювальні машини (КВМ), які можуть бути оснащені як контактними, так і безконтактними зондуючими системами.

Координатно-вимірювальні машини – це пристрої для точних контактних вимірювань об'єктів. Пристрої працюють за допомогою спеціальних датчиків (зондів), які визначають положення точок на поверхні об'єктів. Переміщенням вимірювальної головки може керувати комп'ютер або оператор. Координатно-вимірювальна машина визначає положення датчика зміни його положення, в порівнянні з вихідною позицією по осях XYZ. Для роботи у важкодоступних ділянках КВМ змінює кут нахилу датчика під час руху.

КВМ добре прийняті в промисловості, оскільки вони дуже гнучкі і дозволяють вимірювати точки в просторі з високою точністю. Сьогодні вони, як правило, оснащені цифровими датчиками керування та сканування, як

контактними, так і безконтактними. Механічне сканування не дає уявлення про форму предметів. При оцифровуванні об'єктів лазерним сканером створюється хмара точок, на основі якої програмне забезпечення формує тривимірну деталізовану та високоточну модель.

Для вимірювання великих складних деталей потрібні методи, здатні реєструвати координати точки з діапазоном вимірювань у кілька метрів; найпоширенішими методами є лазерна інтерферометрія, фотограмметрія та лазерний радар.

Лазерний трекер вимірює положення незалежної портативної цілі, як правило, кутового відбивача, який оператор вручну розташовує на поверхні, яка підлягає виміру. Лазерні трекери випромінюють лазерне випромінювання і регулюють два кутові проектори таким чином, щоб лазерний промінь слідував за фізичним відбивачем. В умовах сьогодення, відстань уздовж променя до відбивача вимірюється, наприклад інтерферометричними методами. Потреба оператора для переміщення цілі дещо обмежує кількість положень зондування, тому процес вимірювання є повільним. Вимірювання можна виконувати зі швидкістю кілька тисяч точок в секунду на відстанях до 100 м під час переміщення цілі, тому профілі високої щільності можна легко сканувати на великих поверхнях складної форми.

Лазерний радар – це інший тип лазерної вимірювальної системи для великомасштабної метрології, основною перевагою якого є повна автоматизація процесу вимірювань.

Верстати з ЧПУ також можуть діяти як системи позиціонування для оптичних датчиків. Промислові роботи є ще одним можливим, повністю автоматизованим рішенням для позиціонування оптичних

вимірювальних систем, як альтернатива КВМ, для виконання періодично повторюваних завдань на виробничих лініях, де потреба в точності є максимальною.

Автоматизовані лазерні сканери з позиціонуванням і обертаннями використовуються для максимізації продуктивності виробничої лінії.

Використання лазерної системи на базі ЧПУ потребує формування набору базових вимірювань. У першу чергу, необхідно встановити набір базових площин, які буде використано як опорні вимірювання, вони повинні бути точно паралельні або перпендикулярні один одному; на другому етапі, потрібно точно виміряти відхилення досліджуваної поверхні від базових площин; третій етап передбачає застосування принципу точності, тобто дані обробляються та оцінюються за методом мінімальної зони. Таким чином, базуючись на показниках високоточних п'ятикутних призм та із застосуванням валів, що налаштовуються відповідно до вимог встановлюється набір базових площин.

На валу, осьова лінія якого збігається з падаючим пучком, розташована призма, яка обертається, і сканує промінь, щоб встановити площину. Фазова пластина використовується для створення чорної лінії прицілювання для більш точного позиціонування. Лінійний координатний детектор частинок, основою якого є прилад із зарядним зв'язком, з'єднаний із зондом, який крок за кроком переміщується по поверхні, вимірювання, що відповідають відхиленню від базової площини, отримують безпосередньо під час сканування. Щоб виміряти пару паралельних площин, необхідні два комплекти концентричних вертикальних валів, щоб встановити дві базові площини, точно паралельні одна одній у будь-якому необхідному положенні. Зберігаючи напрям

падаючого променя та надівши п'ятикутну призму на вал, першу поверхню можна виміряти, коли вал обертається; потім переміщаючи ту саму призму вгору на верхній вал, необхідно встановити другу базову площину для вимірювання другої поверхні, яка паралельна першій щойно виміряній поверхні.

Для вимірювання перпендикулярності потрібні два комплекти валів, перпендикулярних один одному, і дві призми. Закріплюючи дві призми на два вали відповідно та обертаючи вертикальний вал, встановлюється горизонтальна базова площина. Потім, зберігаючи орієнтацію вертикальної осі та обертаючи горизонтальний вал, промінь сканує та будує вертикальну базову площину.

Архітектура системи (рисунок 1) складається з лазера, волоконного розгалужувача, фрагмента одномодового волокна, колімаційної лінзи, фазових пластин, двох п'ятикутних призм, трьох обертових валів, ПЗС-детектора, електроніки обробки сигналів, комп'ютера та інтерфейсу.

Лазерний промінь від лазера проходить через шматок одномодового оптичного волокна. Лазерний промінь перетворюється на колімуючий промінь за допомогою колімуючої лінзи, щоб гарантувати, що детектор добре працює навіть на відстані більше 20 метрів. Колімуючий промінь після проходження серії оптики збігається з віссю настроювального валу. Заходом для зменшення впливу кутового дрейфу лазерного променя та підвищення точності вирівнювання є використання асиметричної фазової пластини, яка створює різницю π -фази між хвильовими фронтами через верхню та нижню її частини відповідно в системі вирівнювання. ПЗС-детектор отримує дифракційну картину, чорні лінії, для отримання даних вимірювань.

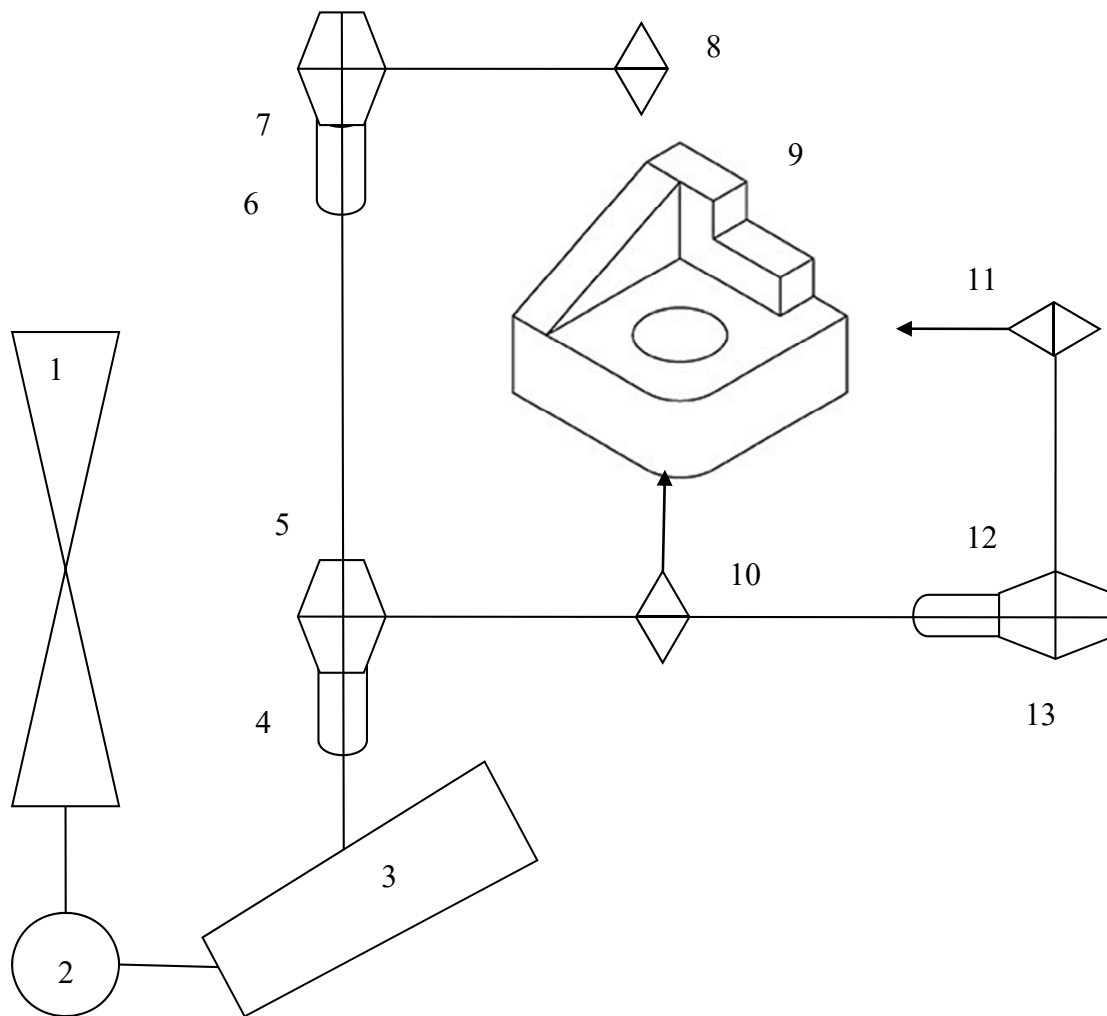


Рис. 1. Архітектура лазерної системи

Умовні позначення:

- 1 – лазер;
- 2 – волоконний розгалужувач;
- 3 – дзеркало;
- 4, 6, 12 – вал;
- 5, 7, 13 – п'ятикутна призма;
- 8, 10, 11 – ПЗС-детектор;
- 9 – заготовка складної форми

Загальна структура системи ЧПУ для управління лазерною обробкою наведена на рисунку 2.

У запропонованій схемі список команд, створених інтерпретатором при обробці програми, що управляє, доступний як інтерполятору, так і модулю зовнішнього управління, що забезпечує можливість як прямого

управління приводами, так і управління сканатором в рамках єдиної керуючої програми. Це виглядає так:

1. При виявленні у рамках керуючої програми команди переходу в режим зовнішнього керування інтерполятор переходить у стан очікування, а на модуль зовнішнього управління передається команда на запуск.

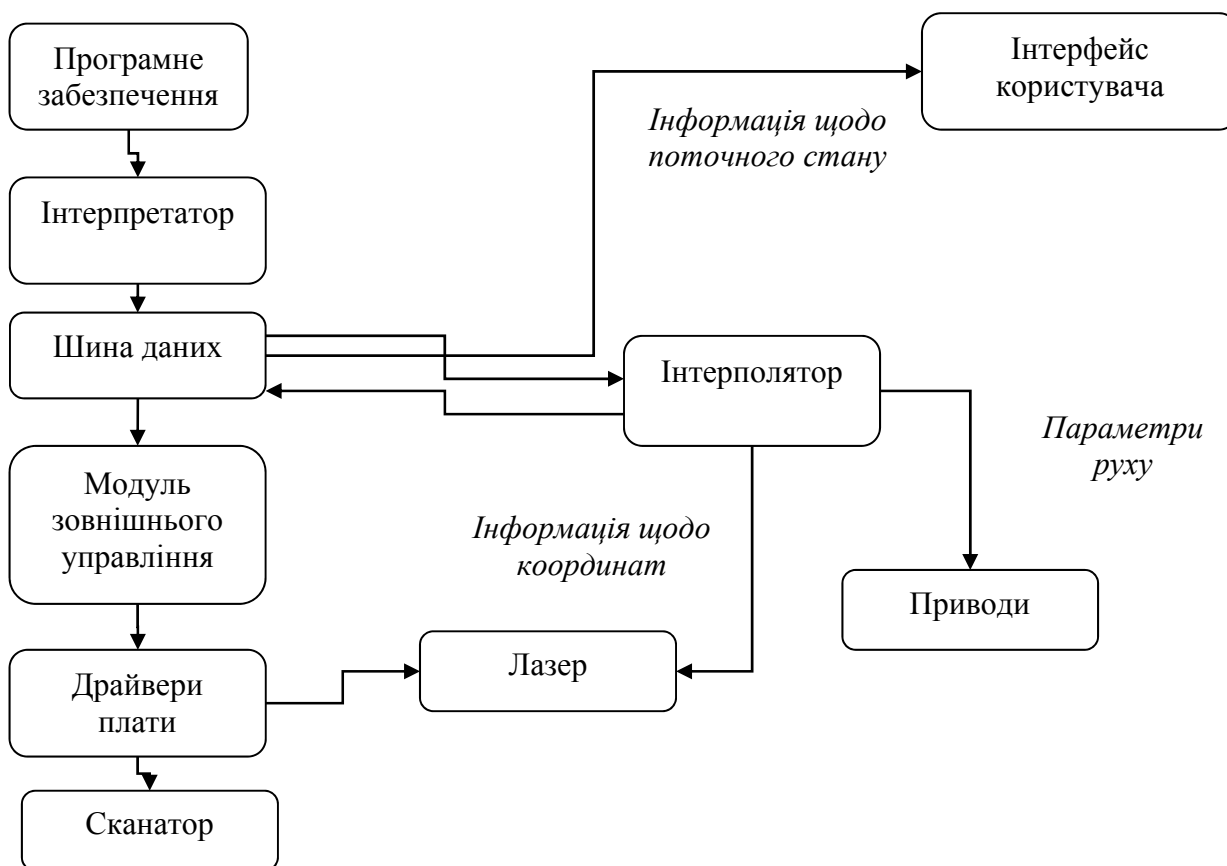


Рис. 2. Загальна структура системи ЧПУ для управління лазерною обробкою

2. Команди переміщення послідовно витягуються зі списку модулем зовнішнього керування. При цьому в залежності від типу команди, що впливає на об'єкт управління за допомогою виклику інтерфейсних функцій його контролера. Після заповнення списку виконується запуск виконання команд.

3. У ході виконання списку команд модуль зовнішнього управління отримує від об'єкта поточні значення параметрів та передає їх у шину даних (для того, щоб у термінальній частині оновлювалися індикатори поточних координат тощо).

4. При виявленні команди на вихід із режиму зовнішнього керування інтерполятор виходить із режиму очікування.

Для того, щоб забезпечити коректну черговість видачі на приводи керуючих сигналів, а також реалізувати

можливість прямого управління з обох модулів, на виході доданий кільцевий буфер зі структурами, що містять інформацію як про управління, так і дані про поточний стан для індикації в терміналі. Кожна структура в буфері має позначку часу, що дозволяє в деяких програмах такої архітектури обійтися без режиму реального часу для інтерполятора. Наявність цього буфера робить інтерполятор і модуль зовнішнього управління однаковими та взаємозамінними з погляду інших модулів системи.

Реалізація описаної архітектури дозволяє використовувати одну систему ЧПУ для різних технологічних завдань з використанням лазера без важливих змін в архітектурі системи.

Керуюча програма виконується в наступній послідовності:

1. Файл моделі виробу або програма мовою високого рівня завантажується в

систему підготовки програм за командою користувача. Інформація про файл та об'єкти обробки відображається в інтерфейсі оператора.

2. Оператор вибирає необхідні параметри обробки і дає команду на генерацію керуючої програми в ISO-7bit.

3. Програма запускається на виконання.

4. Кадри програми потрапляють у шину даних, звідки послідовно виймаються, інтерполятором або модулем зовнішнього керування (залежно від поточного режиму)

Таким чином, запропонована архітектура дозволяє створювати системи управління для різних завдань на основі загальної базової моделі.

ВИСНОВКИ

У роботі розкрито принципи використання лазера у ЧПУ як способу

References

Kyrychenko A., Shelepko O., Alibraheemi M. (2017). Rentapod kinematics module for LinuxCNC. *Avtomatyka ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii u promyslovosti, telekomunikatsiiakh, enerhetytsi ta transporti: materialy vseukr. nauk.-prakt. Intern.-konf., m. Kropyvnytskyi, 16-17 lystop. 2017 r. Kropyvnytskyi, 15-17*

Bolotian M. O., Manoilenko O. P. (2019). Rozrobka ta doslidzhennia verstata z ChPK dlia vyhotovlennia kolodok. *Mekhatronni systemy i kompiuterni tekhnolohii: Prykladna mekhanika ta mashyny, 336-337.*

Kyrychenko A., Al-Ibraheemi Metak Muhammad. Practical application of criteria for the evaluation of the properties of the layouts of multi-axis machines. *Sciences of Europe. 2018. Vol.1, No. 27. P. 64-69.*

Frolov, V.K., Pylypiuk, V.Iu. (2020). Virtualne bazuvannia asymetrychnykh zahotovok na tokarnomu verstati z ChPK. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system.*

реалізації адаптивної технології. Окреслений метод і система лазерного вимірювання площинності, паралельності та перпендикулярності знаходить своє застосування у вимірюваннях заготовок складної та масштабної форми з максимально високою точністю. Систему можна використовувати в процесі виробництва на промисловому підприємстві для контролю якості, з метою максимізації продуктивності виробництва та підвищення якості продукції.

Перспективами подальших досліджень є модернізація запропонованої лазерної системи з метою розширення її універсальності та підвищення масштабованості з урахуванням високих вимог сучасних підприємств.

Natsionalnyi universytet «Chernihivska politekhnikha», 174-175.

Chen, J., & Hu, J. (2017). The Influencing Factor Analysis on the Performance Evaluation of Assembly Line Balancing Problem Level 1 (SALBP-1) Based on ANOVA Method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 212, 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/212/1/012008>*

Zhou, Y., Zhang, S., Xiao, H., & Zhang, W. (2017). Advances in 5-axis CNC laser machining system. In *2017 5th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering (ICMMCCE 2017)*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icmmcce-17.2017.253>

Biris, C. M., Girjob, C. E., & Bologna, O. (2015). Researches Regarding Optimizing the Accuracy of CNC Laser Cutting Machines. *Applied Mechanics and Materials, 809-810, 333-338. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.809-810.333>*

Radu-Eugen, B., Sorin, T., Cristina, B., & Octavian-Constantin, B. (2012). Improving

the dynamic behavior and working accuracy of the CNC laser cutting machines. In *2012 12th International Conference on Control Automation Robotics & Vision (ICARCV 2012)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/icarcv.2012.6485437>

Tavaeva, A. F., Petunin, A. A., & Polishchuk, E. G. (2019, March). Methods of cutting cost minimizing in problem of tool

route optimization for CNC laser machines. In *International Conference on Industrial Engineering* (pp. 447-455). Springer, Cham.

Muchlis, A., Ridwan, W., & Nasibu, I. Z. (2021). Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Laser dengan Metode Design for Assembly. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3(1), 23–27. <https://doi.org/10.37905/jjee.v3i1.9228>