

Odense Robotics Collaboration Project

Integrating feedback loops for autonomous robot-based 3-D concrete printing

by Wilson Ricardo Leal da Silva and Roberto Naboni

Extrusion-based, three-dimensional concrete printing (3DCP) is one of the main areas of development in architectural and construction robotics. Despite its great potential in revolutionizing the way we build sustainable architecture and providing a safer construction site, the 3DCP process remains characterized by limited levels of automation.

Handling cementitious materials requires human interventions to manage changes in operational conditions such as temperature, relative humidity, and moisture content of the aggregate constituents; and continual monitoring is required to ensure the print head is optimally positioned above the previously placed concrete. To tackle this challenge, namely, integrating feedback loops for autonomous and robust 3DCP, a group of Danish researchers and companies established the 3DLOOP project with the support from Odense Robotics, Denmark's national robot and drone cluster focused on accelerating innovation and driving sustainable development amongst robot, automation, and drone companies across the country.¹

The objectives for the 3DLOOP project are to:

- Render robotic 3DCP autonomous and robust by monitoring key aspects that impact the 3DCP process; and
- Elaborate on a concept for a robotic system capable of monitoring and adjusting, in real time, aspects such as the extrusion rate, quality, and dimensions.

As such, the project will move the 3DCP process a step

closer to a truly automated digital fabrication and help construction and automation companies to expand their market. The project was initiated in August 2021 and is scheduled to end in January 2023.

Objectives

The building industry has historically suffered from poor automation levels,² largely because of difficulties related to automating material-intensive construction processes, the scale and complexity of the construction environment, and the level of customization needed for building production. Many Danish robotic start-ups are exploring this field as a strategic and emerging market, where robots can become a key technology enabler for sustainable construction.

The 3DLOOP project will include experimentation with sensors and cameras to enhance the level of autonomy of industrial robotics in construction. By combining hardware and computing capabilities, the project will showcase how robotic manufacturing, sensing technologies, machine learning, material processing, and design can be integrated into a closed-loop system to improve the 3DCP level of automation. Although at an exploratory level, the knowledge from 3DLOOP will benefit construction robotics companies, producers of sensors and cameras, system integrators, construction and engineering firms, and concrete material producers, so they can tap into a rapidly growing market.³



**DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE**

Odense Robotics is collaborating with the University of Southern Denmark, the Danish Technological Institute, and other industry partners on extrusion-based, three-dimensional concrete printing. Odense Robotics is cofinanced by the Ministry of Higher Education and Science and the Danish Board of Business Development

Key Activities

Sensing

Integration of sensors for measurement of flow and temperature will provide real-time data on the 3DCP process. These data will indicate the existence of faults in the system during operation and the curing process of the concrete. Integration of quality monitoring devices such as computer vision and laser measurement systems will be used for the assessment of the dimensional accuracy of extruded concrete and inconsistencies in the material itself.

Loop integration

A central activity will comprise the development of automated control systems to dose the material flow and correct under- or over-extrusion in real-time, in coordination with the robot kinematics. This will require the integration of multiple data inputs into a monitoring and control system that outputs real-time corrective signals to the mixing system and actuators that position and control the nozzle.

Dissemination

The project progress will be communicated through multiple channels, including presentations at Odense Robotics events; technical workshops with companies working in construction and automation, scheduled for November 2021 and May 2022; notes, photos, and videos posted on social media and on the Odense Robotics website, among others; technical presentations at conferences such as Digital Concrete 2022; and in relevant publications such as *Construction Printing Technology Magazine*, *Concrete International*, and others. This robust communication approach will help to promote the project activities, attract new companies to the project, build synergies with existing technology clusters such as ContechLab and We Build Denmark, and nurture new ideas in the field of 3DCP and construction automation.

Collaborators

The project is supported by Odense Robotics. The project team will include Luca Breseghello, PhD Fellow, with the CREATE Group at the University of Southern Denmark, and

ourselves. Participating small and medium enterprises will include COBOD International A/S, Robot At Work, Sensohive, and HD Lab. Additional companies (nationally and internationally) working in the field of construction automation, sensing, and technology will also be invited to participate in the project.

Expectations

The project will demonstrate the feasibility of automating 3DCP using feedback loops for monitoring and control of work product. Through the development of partnerships with material producers, sensor suppliers, and robotics companies, the sensing and automation approach can be expected to scale up 3DCP technology to an industrial level.

References

1. "3DLOOP: Integrating feedback-loops for autonomous robot-based 3D Concrete Printing," <https://www.odenserobotics.dk/projects/3dloop-integrating-feedback-loops-for-autonomous-robot-based-3d-concrete-printing/>, accessed Aug. 4, 2021.
2. Ribeirinho, M.J.; Mischke, J.; Strube, G.; Sjödin, E.; Blanco, J.L.; Palter, J.L.; Biörck, J.; Rockhill, D.; and Andersson, T., *The Next Normal in Construction*, McKinsey & Company, June 2020, 84 pp.
3. Wangler, T.; Roussel, N.; Bos, F.P.; Salet, T.A.M.; and Flatt, R.J., "Digital Concrete: A Review," *Cement and Concrete Research*, V. 123, Sept. 2019, 17 pp.

Selected for reader interest by the editors.



3D concrete printing



Wilson Ricardo Leal da Silva is a Consultant and Product Manager at the Danish Technological Institute, Copenhagen, Denmark. At present, he works in the field of digital solutions applied to concrete technology, where 3D concrete printing has become his passion and main topic of research and development over the past 6 years.

He received his PhD in civil engineering from Czech Technical University, Prague, Czech Republic, in 2013.



Roberto Naboni is an Associate Professor in Computational Design and Digital Fabrication at the University of Southern Denmark (SDU), Odense, Denmark, where he leads CREATE, the group for Computational Research in Emergent Architectural Technology, and manages the 3DLOOP project. He received his PhD in architecture with honors from the Polytechnic University of Milan, Milan, Italy.

Proyecto de colaboración Odense Robotics

Integración de circuitos cerrados para la impresión autónoma del concreto en 3D por medio de robots

por Wilson Ricardo Leal de Silva y Roberto Naboni

La impresión de concreto tridimensional por considerando el método de extrusión (3DCP) es una de las principales áreas de desarrollo en la construcción y la Arquitectura robótica. A pesar de su gran potencial para revolucionar la forma en que construimos arquitectura sustentable y proveer un sitio de construcción más seguro, el proceso 3DCP permanece caracterizado por niveles limitados de automatización.

Como ejemplo se encuentra el manejo de materiales cementosos que requieren de la intervención humana para gestionar los cambios en las condiciones operativas, como la temperatura, la humedad relativa y el contenido de humedad de los agregados; y se requiere un monitoreo continuo para precisar que el cabezal de impresión esté posicionado de manera óptima al colocar concreto. Para abordar este desafío, concretamente, integrar bucles de retroalimentación para una 3DCP robusta y autónoma, un grupo de investigadores y compañías danesas estableció el proyecto 3DLOOP con el apoyo de Odense Robotics, el grupo nacional de robots y drones de Dinamarca enfocado en acelerar la innovación e impulsar el desarrollo sustentable entre las compañías de robots, automatización y drones en todo el país¹.

Los objetivos del proyecto 3DLOOP son:

- Obtener que 3DCP robótico sea autónomo y fuerte, capaz de poder monitorear los aspectos como la tasa de extrusión, calidad y dimensiones;
- y elaborar un sistema robótico que permita su monitoreo y ajuste, en tiempo real.

3DCP, partiendo de la fabricación digital dando un paso hacia la automatización real, ayudando a las empresas de construcción a expandir su mercado. El proyecto se inició en agosto de 2021 y está previsto que finalice en enero de 2023.



**DANISH
TECHNOLOGICAL
INSTITUTE**

Odense Robotics está colaborando con la Universidad del Sur de Dinamarca, el Instituto Tecnológico Danés y otros socios de la industria en la impresión de hormigón tridimensional basada en extrusión. Odense Robotics está cofinanciado por el Ministerio de Educación Superior y Ciencia y la Junta Danesa de Desarrollo Empresarial.

Objetivos

Históricamente, la industria de la construcción ha carecido de automatización², en gran parte debido a las dificultades relacionadas con los procesos constructivos, la variación de los materiales, la escala real, y las diversas actividades dentro de la obra, la cantidad del personal de obra son los factores que hacen complicada la automatización. Varias empresas danesas de robótica están incursionando en este campo como un mercado estratégico y emergente, donde los robots pueden convertirse en instrumento tecnológico clave para la construcción sustentable.

El proyecto 3DLOOP utilizará sensores y cámaras para mejorar el nivel de autonomía de la robótica industrial en la construcción. Al combinar hardware y capacidades informáticas, el proyecto mostrará cómo la fabricación robótica, las tecnologías de detección, el aprendizaje automático, el procesamiento de materiales y el diseño se pueden integrar en un sistema de circuito cerrado para mejorar el nivel de automatización 3DCP. Aunque a un nivel exploratorio, el conocimiento de 3DLOOP beneficiará a las empresas de robótica de la construcción, los productores de sensores y cámaras, los integradores de sistemas, las empresas de construcción e ingeniería y los productores de materiales de hormigón, para que puedan acceder a un mercado en rápido crecimiento³.

Actividades clave

Monitoreo

La integración de sensores para la medición de flujo y temperatura proporcionará datos en tiempo real sobre el proceso 3DCP. Estos datos indicarán la existencia de fallas en el sistema durante la operación y el proceso de curado del hormigón. La integración de dispositivos de control de calidad, como la visión por computadora y los sistemas de medición láser, se utilizará para evaluar la precisión dimensional del hormigón extruido y las inconsistencias en el propio material.

Integración del bucle

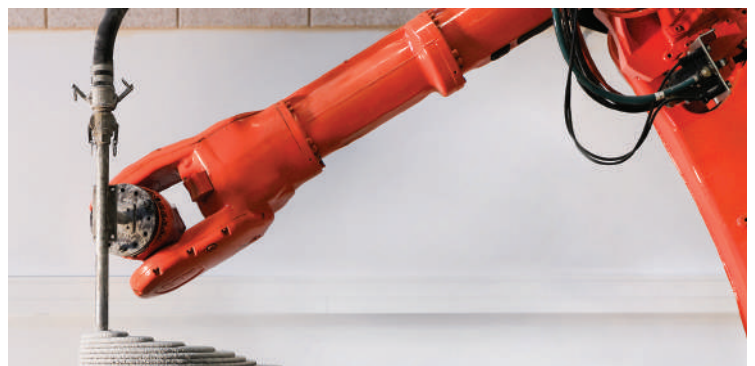
La integración del bucle es una actividad central que comprenderá el desarrollo de sistemas de control automatizados para dosificar el flujo de material y corregir la sub o sobre extrusión en tiempo real, en coordinación con la cinemática del robot. Esto requerirá la integración de múltiples entradas de datos en un sistema de monitoreo y control que emite señales correctivas en tiempo real al sistema de mezcla y actuadores que posicionan y controlan la boquilla.

Difusión

El progreso del proyecto se comunicará a través de múltiples canales, incluidas presentaciones en eventos de Odense Robotics; talleres técnicos con empresas que trabajan en construcción y automatización, programados para noviembre de 2021 y mayo de 2022; notas, fotos y videos publicados en las redes sociales y en el sitio web de Odense Robotics, entre otros; presentaciones técnicas en congresos como Digital Concrete 2022; y en publicaciones relevantes como Revista de tecnología de impresión de construcción, Concrete International, y otros. Este sólido enfoque de comunicación ayudará a promover las actividades del proyecto, atraer nuevas empresas al proyecto, crear sinergias con grupos tecnológicos existentes como ContechLab y We Build Denmark, y fomentar nuevas ideas en el campo del 3DCP y la automatización de la construcción.

Colaboradores

El proyecto cuenta con el apoyo de Odense Robotics. El equipo del proyecto incluirá a Luca Breseghello, PhD Fellow, con CREATE Group en la Universidad del Sur de Dinamarca, y Nosotros mismos.



Las pequeñas y medianas empresas participantes incluirán a COBOD International A / S, Robot At Work, Sensohive y HD Lab. También se invitará a participar en el proyecto a otras empresas (a nivel nacional e internacional) que trabajen en el campo de la automatización, la detección y la tecnología de la construcción.

Expectativas

El proyecto demostrará la viabilidad de automatizar 3DCP utilizando circuitos de retroalimentación para monitorear y controlar el producto de trabajo. A través del desarrollo de asociaciones con productores de materiales, proveedores de sensores y empresas de robótica, se puede esperar que el enfoque de detección y automatización amplíe la tecnología 3DCP a un nivel industrial.

Referencias

1. "3DLOOP: integración de bucles de retroalimentación para robots autónomos 3D Concrete Printing", <https://www.odenserobotics.dk/projects/3dloopintegrating-feedback-loops-for-autonomous-robot-based-3d-concreteprinting/>, consultado el 4 de agosto de 2021.
2. Ribeirinho, MJ; Mischke, J .; Strube, G .; Sjödin, E .; Blanco, JL; Palter, JL; Biörck, J .; Rockhill, D .; y Andersson, T., La próxima normalidad en la construcción, McKinsey & Company, junio de 2020, 84 págs.
3. Wangler, T .; Roussel, N .; Bos, FP; Salet, TAM; y Flatt, RJ, "Digital Concrete: AReview", Investigación en cemento y hormigón, V. 123, septiembre de 2019, 17 págs.



Wilson Ricardo Leal de Silva , es Consultor y Product Manager en el Instituto Tecnológico Danés, aen la actualidad, trabaja en el campo de las soluciones digitales aplicadas a la tecnología del hormigón, donde la impresión 3D del hormigón se ha convertido en su pasión y principal tema de investigación y desarrollo durante los últimos 6 años.

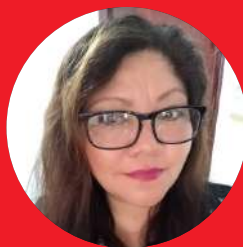
Recibió su doctorado en ingeniería civil de la Universidad Técnica Checa, Praga, República Checa, en 2013.



Roberto Naboni , es Profesor de Diseño Computacional y Fabricación Digital en la Universidad del Sur de Dinamarca (SDU), Odense, Dinamarca, donde dirige CREATE, el grupo de Investigación Computacional en Tecnología Arquitectónica Emergente, y gestiona el proyecto 3DLOOP. Recibió su doctorado en arquitectura con honores de la Universidad Politécnica de Milán, Milán, Italia.

La traducción de este artículo correspondió al Capítulo de México Sureste

Título: *Proyecto de colaboración Odense Robotics*



Traductor: *M.C Claudia Beatriz Rodríguez Poot*



Revisor Técnico: *M.I. Joseph Eli Mandujano Zavala*