Labour Productivity in Mixed-model Manual Assembly Changeovers

Adrian Miqueo¹, Marta Torralba², José A. Yagüe Fabra¹

¹ Grupo de Ingeniería de Fabricación y Metrología Avanzada (GIFMA)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-589247874, e-mail: adrian.miqueo@unizar.es
² Centro Universitario de la Defensa Zaragoza, Ctra. Huesca s/n, 50090, Zaragoza, Spain.

Abstract
In a demand context of mass customisation, Industry 4.0 technologies open new possibilities of increased productivity and flexibility for mixed-model assembly lines. Analytical and parametric analysis is used to better understand the productivity losses of model changeovers as a preliminary step to develop an Assembly 4.0 implementation methodology.

Introduction
The demand trends in recent decades are changing towards the customisation and personalisation of mass produced goods: mass customisation [1]. A dichotomy was traditionally established between automated assembly systems (i.e. employing robots) versus manual or semi-manual assembly (i.e. involving human operators), especially related to productivity – output related to resources used –, and flexibility – the system ability to react efficiently to changes in demand. In consequence, automated systems are typically used for a high volume of relatively similar products – mass production. On the other hand, manual or semi-automated assembly operations are used for make-to-order or bespoke production, where the high product variability and small batch size does not make it profitable to invest in automation [2].

Rapid and disruptive advances in digital technologies applied to manufacturing lead to the prediction –or expectation – of a 4th Industrial Revolution. The German initiative coined the term ‘Industry 4.0’ when launching a strategic programme to enhance and accelerate this change [3]. The digital technologies that would enable this change of manufacturing paradigm are namely: Big Data and Analytics, Autonomous robots, Simulation, Horizontal and vertical system integration, the industrial Internet of Things, Cybersecurity, The cloud, Additive Manufacturing and Augmented Reality [4].

Methodology
Firstly, an analytical model is formulated to establish relationships between several key factors. Secondly, a parametric analysis provides insights into how changes in the key factors and their combination affect the chosen KPI: changeover productivity losses.

Analytical model
In any changeover from one product model (mout) to a new model (min), the key factors for productivity losses are the number of assembly stations (Nsta), cycle time (CT), changeover time (Tco), waiting time (Twait), in-process stock units (WIP). Cycle time and the number of assembly stations are not completely independent variables, since they are related by the work content of each model and the line balancing.

The factors relationship with changeover losses can be modelled using simplified Eq. 1, which assumes that changeover times remain the same across all assembly stations for each pair (model in, model out).
\[
T_{\text{loss}} = N_{\text{sta}} \cdot T_{\text{co}} + T_{\text{wait}}
\]  
(1)

\[
T_{\text{wait}}^{\text{faster}} = (CT_{\text{in}} - (WIP + 1) \cdot CT_{\text{out}}) \cdot (N_{\text{sta}} - 1)
\]  
(2)

\[
T_{\text{wait}}^{\text{slower}} = (CT_{\text{in}} - (WIP + 1) \cdot CT_{\text{out}}) \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{sta}}-1} i
\]  
(3)

The waiting time of a particular station varies depending on the cycle time difference between \(m_{\text{in}}\) and \(m_{\text{out}}\): if \(CT_{\text{in}} > CT_{\text{out}}\), then the line is changing towards a faster model (Eq. 2); otherwise it changes towards a slower model (Eq. 3).

**Parametric analysis**

The software MATLAB is used for calculating the lost and wait time on each assembly station using as input the cycle time of \(m_{\text{in}}\) and \(m_{\text{out}}\) as well as the changeover time of each station for each pair of \(m_{\text{in}}, m_{\text{out}}\).

**Expected Results and Conclusion**

The expected results from this analysis include (1) identifying the key factors affecting assembly lines changeover time; (2) understanding the importance of the cycle time range (\(CT_{\text{max}}, CT_{\text{min}}\)) of the models that the assembly line can manage with minor productivity losses as a preliminary step to study the implementation of Industry 4.0 collaborative robots; and (3) understanding the effect of sequencing on mixed-model assembly to identify alternatives to decrease the productivity sensitivity to sub-optimal sequencing.

**REFERENCES**


ANEXO: INSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA PRESENTACIÓN DEL ABSTRACT

- **Título de la presentación**: El título deberá ir obligatoriamente en minúsculas (si el título es en inglés, irá en mayúsculas la letra inicial de cada palabra, salvo las *palabras vacías* –artículos, preposiciones y pronombres–).

- **Nombre del autor(es)**: Irán en orden natural -Nombre Apellido1 (Apellido2)- y en minúscula, separando cada autor por coma [,]. Se recomienda no utilizar iniciales para los nombres, sino la forma completa.

- **Afiliación**:
  - Deberá figurar el nombre del grupo de investigación del autor(es) en la primera línea desarrollado y con el acrónimo al final entre paréntesis, aunque todos los autores pertenezcan al mismo grupo.
  - Si todos los autores son del mismo grupo de investigación, no hará falta poner la nota en superíndice [1], ya que no es necesario aclarar qué afiliación le corresponde cada uno.
  - En caso de que haya autores de dos o más grupos del I3A, el segundo (y siguientes) se pondrá justo debajo del primero, antes de los datos de contacto.
  - El resto de información de contacto (dirección del I3A, etc.) se mantendrá tal cual aparece en la plantilla, salvo la dirección de email, que se pondrá únicamente la del autor que vaya a presentar la ponencia.
  - Para autores externos solo se citará el nombre de la institución.

- **Listado de referencias bibliográficas**: Deberá seguir obligatoriamente el estilo de la Norma UNE-ISO 690:2013. Se recomienda el uso de gestores bibliográficos como Refworks o Endnote (se desaconseja la utilidad de citas integrada en Google Scholar por su inconsistencia). Ante cualquier duda, consultar con i3a@unizar.es .

Todos los trabajos deberán presentarse obligatoriamente en formato Word y sin la inclusión de este anexo a través del sistema de depósito de trabajos en línea de la revista disponible en la siguiente dirección: [https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/jji3a/about/submissions](https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/jji3a/about/submissions). A través del sistema de depósito se indicará la sección a la que se adscribe el trabajo: “Artículos (Ingeniería Biomédica)”, “Artículos (Procesos y Reciclado)”, “Artículos (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones)” o “Artículos (Tecnologías Industriales)”.

Cualquier duda respecto a la forma de presentación podrá consultarse en la dirección de correo electrónico i3a@unizar.es. Los trabajos que no sigan estas indicaciones serán devueltos a los autores para su corrección.