

Simulation des avant-projets de fabrication par la modélisation statistique

HAMOU Saïd

Laboratoire d'Automatique,

Faculté des sciences de l'ingénieur BP 230,

Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen 13000 Algérie.

E-mail : hamou_s@yahoo.fr

Résumé

Parmi les méthodes de simulation des avant-projets de fabrication appliquées dans l'industrie, on trouve principalement la méthode vectorielle non rationnelle et la méthode des dispersions. Elles permettent de vérifier la faisabilité des gammes d'usinage et d'optimiser les cotes de fabrication. Ces méthodes se basent sur le principe des pires de cas « worse case ». Elles répartissent la tolérance de la cote condition sur les cotes de fabrication composantes de la chaîne d'une manière équitable. Or dans la réalité, cette répartition devrait prendre en compte les phénomènes aléatoires des dispersions ainsi que la complexité et le coût des cotes à réaliser. Dans ce contexte, un modèle statistique de tolérancement est conçu pour une distribution plus objective des reliquats. La méthode des dispersions dans cette modélisation, est utilisée pour la reconnaissance des variables de la fonction objectif et l'extraction automatique des chaînes de cotes de fabrication pour construire les contraintes du modèle d'optimisation. Le modèle de synthèse est un modèle linéaire et sa résolution est basée sur la technique du Simplexe. Enfin, l'ensemble des traitements du tolérancement des cotes de fabrication est regroupé dans un programme global dont sa validation est confirmée par plusieurs exemples.

1. Introduction

La simulation des avant-projets de fabrication est une opération très importante dans le processus de réalisation d'un produit industriel. Elle permet de vérifier la faisabilité de la gamme d'usinage pour toutes les cotes condition CBE et CBM et de calculer les cotes de fabrication optimisées. Les méthodes les plus utilisées dans l'industrie pour simuler les avant-projets d'étude de fabrication sont la méthode vectorielle non rationnelle et la méthode des dispersions dite méthode ΔI [1]. Cette dernière est nettement plus efficace que la méthode vectorielle non rationnelle. Dans un prochain travail, nous présenterons l'avantage de la simulation des avant-projets d'étude de fabrication par la méthode ΔI par rapport à la méthode vectorielle non rationnelle en

utilisant des graphiques. La simulation des avant-projets d'étude de fabrication par la méthode ΔI est conçue sous la forme de trois grandes procédures dans un ordre chronologique bien déterminé : une première procédure de vérification des avant-projets, une deuxième procédure d'optimisation des dispersions et finalement une troisième procédure de calcul des cotes de fabrication optimisées [2]. La procédure de la vérification des avant-projets d'étude de fabrication dans ce travail, a été remodelée afin qu'elle puisse reconnaître automatiquement l'ensemble de cotes de fabrication qui réalisent les cotes condition. De même, elle permet la détermination des chaînes de cotes de fabrication par un calcul matriciel [3].

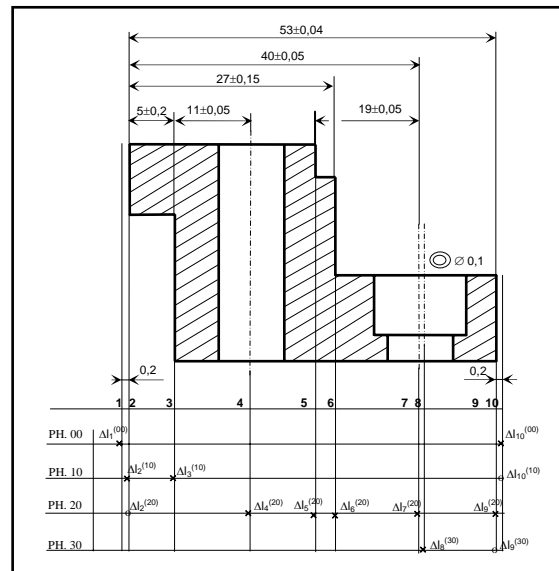


Figure 1. Processus de fabrication (Méthode ΔI)

Le tolérancement de fabrication dans la méthode vectorielle et la méthode de ΔI est réalisé en répartissant les excédants de la tolérance de la cote condition sur les cotes de fabrication composantes de la chaîne d'une manière équitable. Cependant pour optimiser le coût de fabrication, on devrait affecter la plus grande tolérance à la cote la difficilement réalisable. Pour cela nous avons développé un modèle statistique qui prend en compte les

phénomènes aléatoires des dispersions ainsi que la complexité et le coût des cotes à réaliser. Pour illustrer les différentes étapes de la modélisation des tolérances de fabrication, on prendra l'exemple d'application d'un avant-projet d'étude de fabrication de la figure 1, qui comporte les cotes condition *CBE* et *CBM* et le processus de fabrication.

2. Méthode des dispersions

A partir du graphe de localisation des dispersions du processus de fabrication de la figure 1, nous déterminons la représentation matricielle de l'avant-projet de fabrication donnée par le tableau suivant :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PH.00	$\Delta l_1^{(00)}$	0	0	0	0	0	0	0	0	$\Delta l_{10}^{(00)}$
PH.10	0	$\Delta l_2^{(10)}$	$\Delta l_3^{(10)}$	0	0	0	0	0	0	$\Delta l_{10}^{(10)}$
PH.20	0	$\Delta l_2^{(20)}$	0	$\Delta l_4^{(20)}$	$\Delta l_5^{(20)}$	$\Delta l_6^{(20)}$	$\Delta l_7^{(20)}$	0	$\Delta l_9^{(20)}$	0
PH.30	0	0	0	0	0	0	0	$\Delta l_8^{(30)}$	$\Delta l_9^{(30)}$	0

Tableau 1. Matrice de l'avant-projet de fabrication

Dans le module de la vérification des avants projets de fabrication, Une fois qu'on est en transfert minimum [4] ; les cotes de fabrication qui participent à la réalisation des cotes condition sont les cotes délimitées par les surfaces qui abritent les deux dispersions présentes sur la même phase. Pour la vérification de la cote $CBE_{3,4}$ ($11 \pm 0,05$) de la figure 1 par exemple, on retient la matrice de l'APEF en transfert minimum donnée le tableau 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PH.00	0 ¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PH.10	0	$\Delta l_2^{(10)}$	$\Delta l_3^{(10)}$	0	0	0	0	0	0	0
PH.20	0	$\Delta l_2^{(20)}$	0	$\Delta l_4^{(20)}$	0	0	0	0	0	0
PH.30	0	0	0	0	0	0	0	0 ¹	0 ¹	0

Tableau 2. Matrice en transfert minimum

Nous remarquons que dans la phase 10, il y a deux dispersions $\Delta l_2^{(10)}$ et $\Delta l_3^{(10)}$ positionnées sur les surfaces 2 et 3. Alors la cote de fabrication qui participe à la réalisation de la cote $CBE_{3,4}$ dans cette phase est $CF_{2,3}$. De même, dans la phase 20, la cote de fabrication est $CF_{2,4}$. Ainsi, on obtient l'ensemble des cotes de fabrication nécessaires pour réaliser toutes les cotes *CBE* et *CBM*. D'autre part, l'écart de fabrication qui réalise la cote $CBE_{3,4}$ est donné par la relation suivante :

$$IT_{CBE_{3,4}} = (\Delta l_2^{(10)} + \Delta l_3^{(10)}) + (\Delta l_2^{(20)} + \Delta l_4^{(20)}) \quad (1)$$

Comme la tolérance de fabrication est la somme des dispersions qui lui sont affectées et en se servant de la relation (1), nous retrouvons l'équation synthèse de la chaîne de cotes suivante :

$$T_{CBE_{3,4}} = T_{CF_{2,3}} + T_{CF_{2,4}} \quad (2)$$

Nous pouvons reproduire ce raisonnement pour déterminer l'ensemble des chaînes de cotes de fabrication. Elles sont regroupées dans le tableau 3. Nous remarquons aussi que l'obtention de ces cotes CF est obtenue sans réaliser une chaîne de cotes graphique.

1	$T_{CBE_{2,3}} = T_{CF_{2,3}}$	6	$T_{CBE_{2,9}} = T_{CF_{2,9}}$
2	$T_{CBE_{3,4}} = T_{CF_{2,3}} + T_{CF_{2,4}}$	7	$T_{CBE_{7,8}} = T_{CF_{7,8}} + T_{CF_{8,9}}$
3	$T_{CBE_{7,5}} = T_{CF_{7,5}}$	8	$T_{CBM_{1,2}} = T_{CF_{9,10}} + T_{CF_{2,10}}$
4	$T_{CBE_{2,7}} = T_{CF_{2,7}}$	9	$T_{CBM_{9,10}} = T_{CF_{2,9}} + T_{CF_{2,10}}$
5	$T_{CBE_{2,6}} = T_{CF_{2,6}}$		

Tableau 3. Chaînes de cotes de fabrication

3. Modélisation statistique

Comme il est très peu probable que les valeurs extrêmes des tolérances des cotes composantes d'une chaîne qui réalisent une cote condition se produisent simultanément, il n'est pas nécessaire d'appliquer une relation aussi restrictive que la relation arithmétique. D'autre part, il est probable qu'une partie des erreurs se compense entre les pièces lors de l'assemblage. Dans ce contexte nous avons développé [5] un modèle statistique d'optimisation des tolérances de fabrication.

Ce modèle utilise la formulation suivante :

Minimiser :

$$C_{APEF} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{n_j - m_j} \sum_{k=1}^l \left(\frac{C_{jik} - C_{jik-1}}{T_{CFjik}^2 - T_{CFjik-1}^2} \right) X_{jik} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \left(\frac{C_{ik} - C_{ik-1}}{T_{CFctk}^2 - T_{CFctk-1}^2} \right) X_{ik}$$

Avec les contraintes :

$$T_{CCj}^2 \geq \sum_{i=1}^{n_j - m_j} T_{CFji0}^2 + \sum_{i=1}^{m_j} T_{CFct0}^2 + \sum_{i=1}^{n_j - m_j} \sum_{k=1}^l X_{jik} + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l X_{ik} \quad \forall j$$

$$0 \leq X_{jik} \leq [T_{CFjik}^2 - T_{CFjik-1}^2] \quad \forall j, i, k$$

$$0 \leq X_{ik} \leq [T_{CFctk}^2 - T_{CFctk-1}^2] \quad \forall t, k$$

$$T_{CFjik}^2 = T_{CFji0}^2 + \sum_{k=1}^l X_{jik} \quad \forall j, i$$

$$T_{CFctk}^2 = T_{CFct0}^2 + \sum_{k=1}^l X_{ik} \quad \forall t$$

Où :

T_{CF} sont les tolérances des cotes de fabrication.

T_{CFc} sont les tolérances des cotes de fabrication communes à deux ou à plusieurs chaînes de cotes.

T_{CCj} sont les tolérances des cotes condition.

p	le nombre de chaînes de cotes (nombre de cotes condition).
n_j	le nombre de cotes de fabrication présentes dans chaque chaîne de cotes j .
m_j	le nombre de cotes de fabrication communes dans chaque chaîne de cotes j .
m	le nombre total des cotes communes de fabrication présentes dans l'APEF.
X	les valeurs dimensionnelles composantes des tolérances de fabrication.

Ce modèle de synthèse est un modèle linéaire. Pour le résoudre, nous avons utilisé la technique du Simplexe et une base de données standard [6]. De même, nous avons développé une maquette informatique de tolérancement programmée en langage Delphi.

Pour les tolérances des cotes *CBE* bilimites de l'exemple de la figure 1, nous avons obtenu le résultat suivant :

	Méthode des dispersions	Modélisation statistique
$T_{CF[3-4]}$	0,200	0,200
$T_{CF[1-3]}$	0,200	0,305
$T_{CF[1-2]}$	0,200	0,259
$T_{CF[1-4]}$	0,200	0,200
$T_{CF[4-5]}$	0,200	0,305

Tableau 4. Résultats de la simulation

4. Conclusion

Ce travail présente l'optimisation des tolérances des cotes de fabrication par la méthode des dispersions et par la modélisation statistique. De la méthode des dispersions ; on peut trouver arithmétiquement les tolérances de fabrication, on peut aussi reconnaître les cotes de fabrication réalisantes les cotes condition comme on peut extraire automatiquement les chaînes de cotes de fabrication. Les tolérances des cotes fabrication une fois enregistrées, vont servir comme variables pour la fonction objectif pour modéliser l'optimisation des tolérances des cotes de fabrication. De même, les chaînes de cotes extraites automatiquement vont être utilisées comme contraintes de la modélisation. Cette dernière prend en

considération le facteur statistique pour une répartition plus objective des excédants de la tolérance de la cote condition afin d'affecter la plus grande tolérance à la cote de fabrication la plus difficile à réaliser. La résolution du modèle détermine les tolérances de fabrication. En conséquence, les résultats obtenus des tolérances de fabrication par la modélisation statistique sont nettement plus larges que ceux obtenus par la méthode des Δl comme c'est illustré sur le tableau 4. Ceci a un impact direct sur l'optimisation du coût de fabrication d'un produit industriel. Toutefois la méthode des Δl est une méthode arithmétique qui se base sur le principe du tolérancement du pire des cas (*worse-case*) reste la méthode de simulation la plus sûre. Par ailleurs la simulation des avant-projets d'étude de fabrication par la modélisation statistique qui est fiable à 99,73% nécessite une installation d'une stratégie de contrôle des pièces très sévère. C'est la raison pour laquelle notre outil de tolérancement des cotes de fabrication donne aux agents de maîtrise du bureau des méthodes le pouvoir de choisir entre les deux options de simulation.

5. Références

- [1] S. Hamou, J.M. Linares, A. Cheikh et J.M. Sprauel, « Impact des conventions sur la simulation des avant-projets de fabrication », *Premier Congrès International Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques, CMSM'2005*, p.81, Tunis, Mars 2005.
- [2] S. Hamou et J.M. Linares, « Le poids des conventions en simulation d'avant-projet de fabrication », *Proceeding du séminaire sur les technologies mécaniques avancées*, Tlemcen, Décembre 2003, pp. 376-380.
- [3] S. Hamou, A. Cheikh, J.M. Linares and A. Benamar, « Machining dispersions based procedures for computer aided process plan simulation », *International Journal Computer Integrated Manufacturing*, vol. 117 n°2, Mars 2004, pp 141-150.
- [4] D. Duret, « Simulation de Gamme d'Usinage », *Revue de l'Ingénieur et du Technicien de l'Enseignement Technique*, n°229, 1981, pp. 34-37.
- [5] S. Hamou, « Contribution à l'optimisation de la spécification des états intermédiaires dans le processus de fabrication », *Thèse de Doctorat*, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Juin 2004.
- [6] A. Cheikh, « Combined Statistical Optimisation Linear Programming and Mixed Integer Linear Programming Tolerance Analysis and Synthesis Models », *Les Annales Maghrébines de l'Ingénieur*, Tunis, 1998, pp.743-748.