

Ordonnancement des tests de compatibilité électromagnétique sur des véhicules avec CP Optimizer

Nawel Younes^{1,2}, Alain Nguyen² et Siham Essodaigui²

¹ ENSTA Paris, France

nawel.younes@ensta-paris.fr

² Renault, France

{alain.nguyen,siham.essodaigui}@renault.com

Mots-clés : *CP Optimizer, ordonnancement, compatibilité électromagnétique, machines spécialisées, machines à traitement par lots, fenêtres de temps, contraintes de ressources.*

1 Introduction

En Compatibilité Electromagnétique, les essais d'immunité consistent à irradier un véhicule, installé tout seul dans une chambre, avec des ondes électromagnétiques et à vérifier que son comportement n'en est pas affecté. Plusieurs essais peuvent être réalisés pendant une même séance (8h matin/soir). Actuellement, l'ordonnancement des tests est réalisé manuellement par les leaders essais qui avaient besoin d'avoir un outil d'ordonnancement des tests qui minimise le nombre de séances utilisées. Ce projet a été mené dans le cadre d'un stage du master MPRO.

2 Définition de problème

Il s'agit d'affecter et d'ordonnancer n Plans De Test (PDT_0, \dots, PDT_{n-1}) sur m véhicules (VH_0, \dots, VH_{m-1}) tout en respectant un ensemble des contraintes et minimisant un ensemble des critères dans un ordre lexicographique.

2.1 Contraintes

- Un PDT est affecté **sans préemption à un seul véhicule** : $\sum_{j=0}^{m-1} y_{ij} = 1 \forall i \in \{0..n-1\}$ avec $y_{ij} = 1$, si le PDT_i est affecté au VH_j , 0 sinon ;
- Pour chaque PDT, il existe une liste de véhicules sur lesquels il peut s'exécuter : $y_{ij} = 0 \forall (i, j)$ tel que $a_{ij} = 0$ avec **A est une matrice de compatibilité Plans De test sur véhicules** ;
- Chaque véhicule possède **une fenêtre de temps ferme** ;
- Pendant chaque pas de temps (**séance**), **un seul véhicule est disponible** ;
- Deux Plans De Test **compatibles** peuvent être exécutés **simultanément** sur un même véhicule. Dans ce cas, ils commencent et se terminent en même temps. En revanche, deux Plans **incompatibles** ne peuvent pas **se chevaucher** ;
- les Plans De Test exécutés chaque séance nécessitent **K ressources renouvelables (équipements)** caractérisés par des capacités limitées b_k par pas de temps : $\sum_{i=0}^{m-1} b_{ik} x_i^t \leq b_k \forall t \in \{0..T\} \forall k \in \{0..K-1\}$ avec $x_i^t = 1$ si le PDT_i est exécution à l'instant t , 0 sinon. Et b_{ik} est la quantité de k nécessaire à l'exécution du PDT_i chaque séance.

2.2 Critères d'optimisation (ordre lexicographique)

1. Minimiser la date de fin maximale de tous les tests (minimiser le C_{max}) ;

2. Minimiser le nombre de séances sur lesquels les tests ont été planifiés. Une façon de modéliser cet objectif : $\min \sum_{j=0}^{m-1} (Cv_j - Sv_j)$ avec Sv_j est la date de début d'exécution des tests sur le VH_j et Cv_j est la date de fin d'exécution des tests sur le VH_j ;
3. Minimiser le nombre de changements de véhicules ;
4. Minimiser le nombre de véhicules utilisés ;
5. Minimiser les temps d'installation des équipements.

3 Bref positionnement bibliographique

Il s'agit d'un problème combiné d'affectation et d'ordonnancement multicritère à machines dédiées non parallèles (les véhicules), à traitement par batches avec fenêtres de temps pour les machines et avec des contraintes de ressources additionnelles. Dans la littérature, le problème à machines parallèles dédiées avec des contraintes de ressources multiples a été traité dans le papier [1] où deux variantes de ce problème à une seule ressource et à un nombre fixe de ressources λ ($PD|res\lambda|C_{max}$ et $PD|res1|C_{max}$) ont été prouvés NP-difficiles. Différentes variantes du problème à machines à traitement par p-Batches ont été également traitées dans la thèse [2].

4 Résolution et Résultats d'expériences

Nous avons utilisé le moteur de résolution d'IBM, **CP Optimizer** pour **modéliser** puis **résoudre** ce problème étant donné son adéquation de CP Optimizer pour les problèmes d'ordonnancement complexes. Nous avons utilisé plusieurs fonctionnalités de CP Optimizer par exemple les contraintes globales **alternative** (Affectation des essais aux véhicules) et **no-overlap** (contrainte disjonctive) ainsi que les **cumulFunction** pour gérer la contrainte des ressources. La description des instances testées et les **principaux** résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Description instances				Résultats			
code (Gamme de véhicules)	n	m	K	temps limite	Nb séances	gap	gain
XJI_F	32	14	12	1 min	24	14,28%	31,42%
HHN	35	2	13	4 min	24	4,34%	45,23%
BCB	36	3	12	1 min	23	4,54%	46,51%
LFD_ph2	88	10	12	15 min	59	3,50%	44,34%

TAB. 1 – Instances et Résultats

Les instances ne sont pas résolues à l'optimalité mais les résultats (en nombre de séances) étaient satisfaisants d'un point de vue, planificateurs (clients) et d'un point de vue calcul **des gaps** par rapport à des bornes inférieures (en relâchant la contrainte de fenêtres de temps). Les gains sont les pourcentages des séances masquées grâce aux associations et le gain moyen est 41,88% qui est au dessus de gain actuel (30%) et de l'objectif (40%) sur les instances testées. Les planificateurs étaient satisfaits des résultats et le projet est **en phase d'industrialisation**.

Références

- [1] H.Kellerera, V.A.Strusevich. Scheduling problems for parallel dedicated machines under multiple resource constraints. *Discrete Applied Mathematics*, 2003.
- [2] Adrien Bellanger. *Ordonnancement sur les machines à traitement par batches et contraintes de compatibilité*. Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine soutenue en 2002.