

Synthèse en ligne de superviseur compositionnel pour flotte de robots mobiles

Johan Girault^{1,2}, Jean Jacques Loiseau¹,
Olivier H. Roux¹

¹ IRCCyN CNRS, École Centrale de Nantes, France

² BA Systèmes, Mordelles, France

Rennes, France, 14 novembre 2013

MSR'13

Plan

- Supervision de robots mobiles dans un atelier
- Modélisation par automate
- Calcul du superviseur
- Synthèse compositionnelle
- Résultats expérimentaux

Supervision de robots mobiles (AGVs) dans un atelier

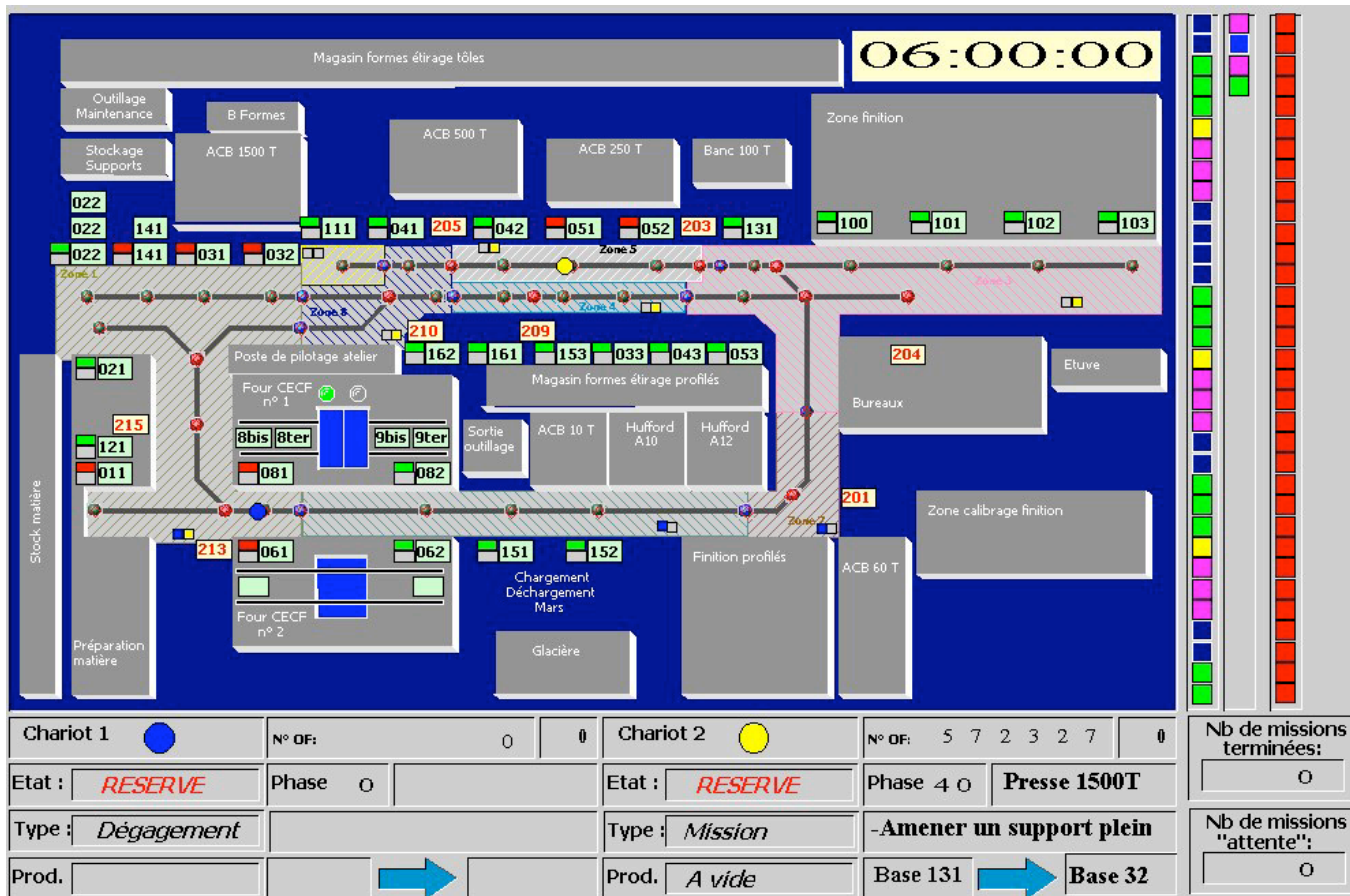


Figure 1: L'atelier Mercure de l'usine Airbus de Nantes.

Exemple utilisé dans l'article

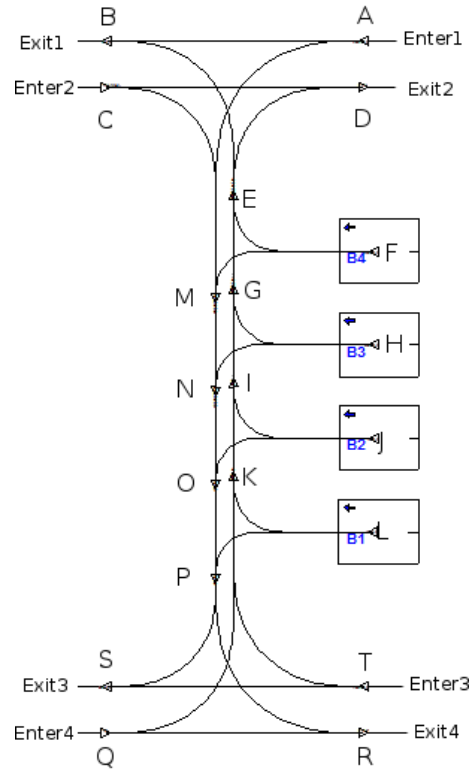


Figure 2: Une zone de stockage chez un client de BA Systèmes.

Modélisation

Tout commence par une discrétisation du circuit.

Chaque état correspond à un tronçon ou à un carrefour.

Cette procédure n'est pas si simple, car les circuits sont initialement dessinés comme des traits continus dans le plan. Elle est destinée à être automatisée.

Le modèle global est le produit des automates correspondant aux différents AGVs présents dans la zone considérée.

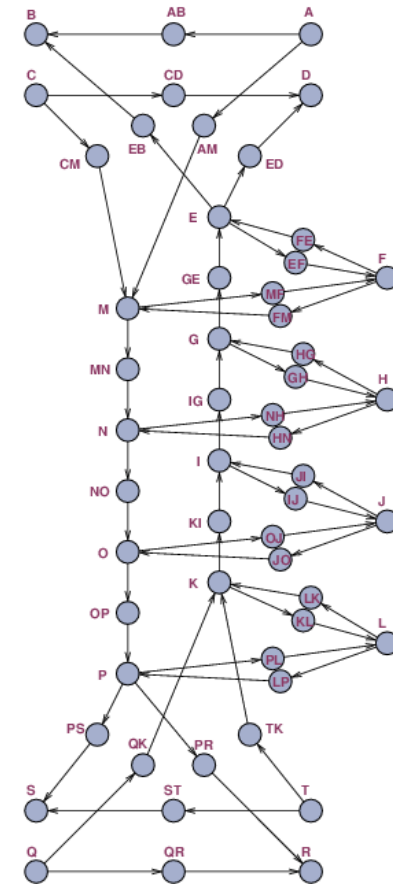


Figure 3: Template d'automate pour chaque AGV.

Problème de supervision

Le système de supervision reçoit des postes de travail les informations les fins d'opérations, élabore des ordres de transport, choisit l'AGV exécutant la mission, l'ajoute à la flotte en mouvement et recalcule sa logique de pilotage. Il peut aussi arriver de nouveaux AGVs dans la zone.

En termes d'automate, on connaît l'état de départ, qui est l'état présent, l'état d'arrivée à partir de l'état final de chaque chariot, vers un poste de travail ou vers une sortie de la zone, et il convient de calculer une trajectoire ad hoc. Éventuellement, on cherchera dans un second temps à optimiser un critère énergétique ou temporel.

Le coeur du problème est d'*éviter les conflits* entre chariots, *les accidents*, et *les interblocages* qui risquent de se produire si l'on s'y prend mal.

Formulation du problème de supervision

Les zones de conflit correspondent à la présence de deux chariots dans le même état, ou dans des états incompatibles.

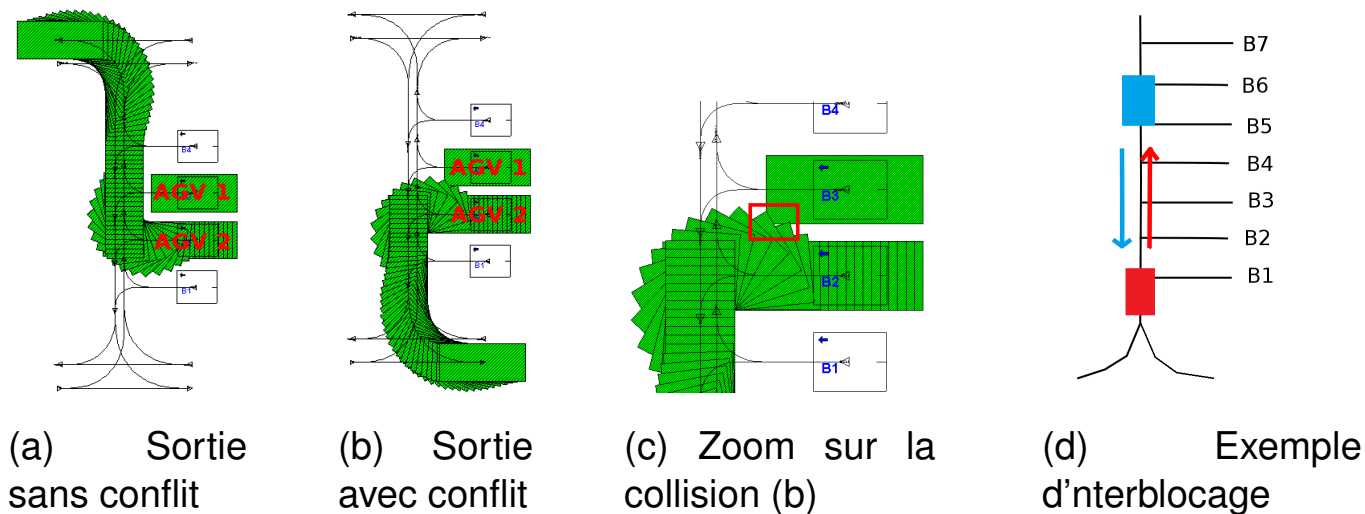


Figure 4: Exemple de missions de sortie incompatibles

L'automate excluant les zones de conflit définit la spécification du problème de supervision, au sens de Ramadge-Wonham.

Calcul du superviseur «à la Ramadge-Wonham»

Le calcul consiste classiquement à supprimer tous les états interdits de l'automate global du système, puis tous les états non-commandables menant à des états interdits, puis les états non-coatteignables afin de supprimer les situations de blocage.

Si G_i désigne l'automate de l'AGV i , le modèle global du système s'écrit comme le produit

$$M = G_1 \parallel G_2 \parallel \dots \parallel G_n ,$$

et le superviseur est défini par

$$S(M) = Trim(H(M)) .$$

Approche compositionnelle du calcul de superviseur

Theorem L'égalité suivante est vérifiée :

$$\begin{aligned} S(M) &= S_G(M) = S(G_1 \parallel G_2 \parallel \cdots \parallel G_n) \\ &= S_C(M) = S(S(S(\dots S(G_1 \parallel G_2) \parallel \dots) \parallel G_{n-1}) \parallel G_n). \end{aligned}$$

La démonstration de ce résultat ce résultat vient en itérant l'égalité

$$S(G_1 \parallel G_2 \parallel \cdots \parallel G_n) = S(S(G_1 \parallel \dots \parallel G_{n-1}) \parallel G_n).$$

L'inclusion vient simplement de ce que

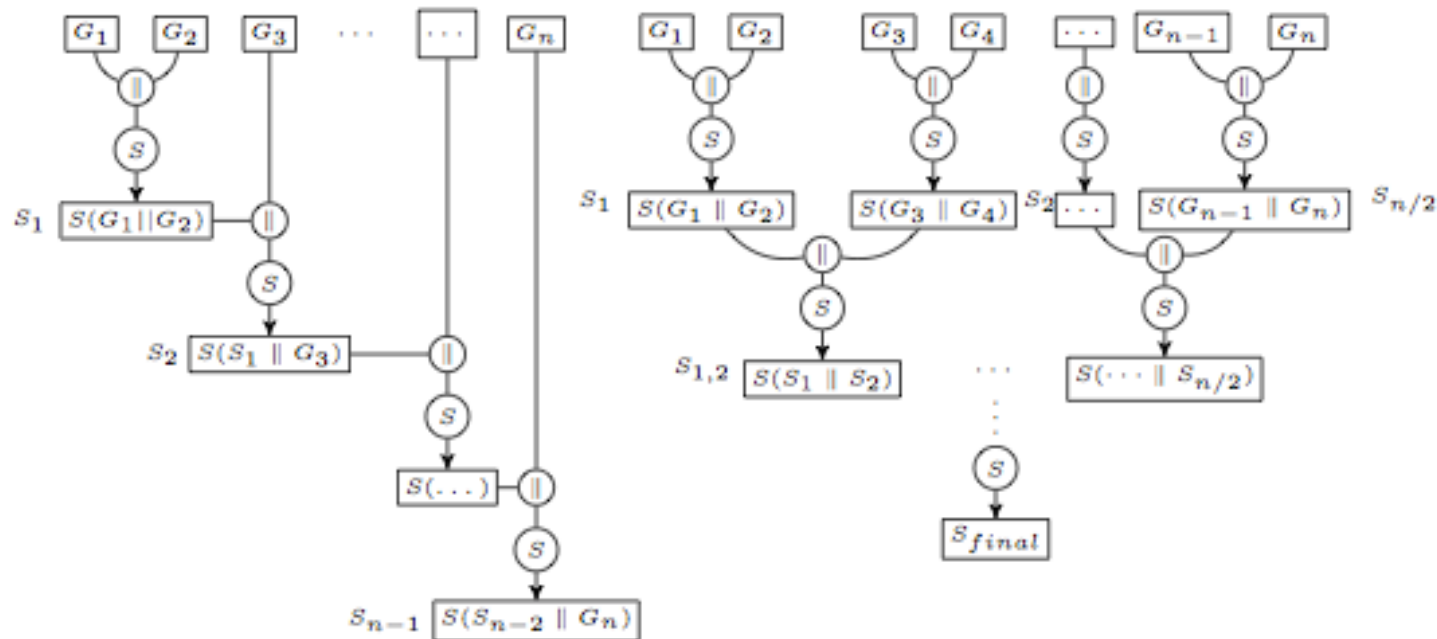
$$S(G_1 \parallel G_2 \parallel \cdots \parallel G_n) \subset S(G_1 \parallel \dots \parallel G_{n-1}) \parallel G_n ,$$

et l'inclusion inverse du fait que

$$G_1 \parallel G_2 \parallel \cdots \parallel G_n \supset S(G_1 \parallel \dots \parallel G_{n-1}) \parallel G_n .$$

Approche compositionnelle (suite)

On peut en fait envisager diverses variantes de composition.



(5.a) S_{k+1} à partir de S_k

(5.b) Synthèse deux à deux

Figure 5: Différentes synthèses compositionnelles.

Algorithme de synthèse compositionnelle

L'algorithme de synthèse est le suivant.

Algorithme 1 – Algorithme de synthèse S_C

$G \leftarrow \{G_1; G_2; \dots G_{n-1}; G_n\}$

G est l'ensemble des automates des AGV

$S_C \leftarrow S(G_1 \parallel G_2)$

Calcul du superviseur de $G_1 \parallel G_2$

$G \leftarrow G \setminus \{G_1; G_2\}$

On retire les automates G_1 et G_2 de l'ensemble G

while $G \neq \emptyset$ **do**

$x \leftarrow \text{get}(G)$

get(G) renvoie un élément de l'ensemble G.

$S_C \leftarrow S(S_C \parallel x)$

(le plus à gauche dans le cas de la figure 5.a)

$G \leftarrow G \setminus \{x\}$

end while

Figure 6: Différentes synthèses compositionnelles.

Résultats expérimentaux

Cas 1: 4 AGVs sur la zone précédemment décrite,
Cas 2: modèle LIFO, 4 AGVs puis 6 AGVs.

Résultats expérimentaux

Approche \ Cas	Cas 1	Cas 2	Cas 2 (6 AGV)
$2^*S_G(M)$	$2^* \simeq 30s$	$2^* \simeq 37s$	2^* explosion
$2^*S_C(M)$	$2^* \simeq 11s$	$2^* \simeq 0.4s$	$2^* \simeq 6s$

Conclusions

On a appliqué la théorie de Ramadge-Wonham du calcul du superviseur le plus permissif à un système d'AGV réel.

Nous proposons une approche compositionnelle, qui dans des cas réalistes s'avère très efficace. Elle a permis de générer un superviseur pour plus de quatre AGV dans une zone critique, ce qui n'est pas possible avec la méthode classique de synthèse. La méthode peut être appliquée en ligne dans un contexte temps réel.

La méthode sera mise en oeuvre par l'entreprise BA Système. Une perspective immédiate envisagée est d'ajouter une optimisation du routage en fonction de critères énergétiques ou temporels.

Dernière remarque sur l'approche compositionnelle

Cette approche compositionnelle s'applique aussi dans le contexte de la synthèse modulaire. On a comme tout à l'heure

$$\mathcal{C}(L_1 \cap L_2) = \mathcal{C}(\mathcal{C}(L_1) \cap L_2) ,$$

du fait que $L_1 \cap L_2 \supset \mathcal{C}(L_1) \cap L_2$, et $\mathcal{C}(L_1 \cap L_2) \subset \mathcal{C}(L_1) \cap L_2$.

Il conviendra de chercher à quantifier le gain obtenu en termes de complexité des calculs. Par ailleurs il sera intéressant de comparer ces gains avec ceux obtenus avec des méthodes plus classiques de simplification, par exemple celles basées sur l'exploitation des symétries dans les automates.

MERCI DE VOTRE ATTENTION !