12th International Colloquium of Logistics and Supply Chain Management **LOGISTIQUA 2019**
June, 12-14
IUT de Montreuil, Université Paris8, France

La gestion des ressources mobiles rares dans un Internet Physique sans ressources dédiées

Jean-Yves Colin, Moustafa Nakechbandi
LITIS, Le Havre University, 5 rue Ph. Lebon,
Le Havre, France
{moustafa.nakechbandi, jean-yves.colin}@univ-lehavre.fr

Hervé Mathieu
ISEL, Quai Frissard
Le Havre, France
herve.mathieu@univ-lehavre.fr

***Abstract*— Internet physique a pour objectif d'être un réseau logistique partageable et plus efficace. Le modèle de référence NOLI pour un Internet physique est un modèle de référence, inspiré du modèle de référence OSI pour les réseaux de données et Internet. Dans cette présentation, nous étudions certaines fonctionnalités de la couche 6, la couche qui gère les conteneurs, en particuliers les conteneurs à température dirigée (ou reefers), qui permettent par exemple le transports d'aliments, ou de médicaments. Nous proposons un algorithme efficace pour inciter au prix le plus bas les transporteurs à prendre puis à déposer des ressources rares, et même à dévier de leur chemin de retour qui sont souvent faits à vide ou presque pour le faire. Notre solution est basée sur le calcul de plus courts chemins (Warshall), puis sur la résolution d'un problème de transport (Methode de Stepping Stone) qui est une variante de la méthode du Simplex.**

Mots clés: Internet Physique, systèmes logistiques, mutualisation des ressources logistiques, problème de transport, routage.

I. INTRODUCTION

Le concept d'"Internet Physique" est basé sur l'idée qu'il est possible de gérer le transport d'objets physiques, tels que des conteneurs avec leur contenu, avec les mêmes principes utilisés pour gérer les paquets de données de l'Internet. Ceci permet d'envisager le transport efficace de ces ressources physiques avec des concepts et des solutions développés pour les réseaux de données, comme l'encapsulation ou le routage, et la mutualisation des moyens.

De la même façon qu'il existe des modèles de référence pour les réseaux de données, comme le modèle OSI et le modèle TCP/IP, il existe au moins deux modèles pour l'encapsulation et le transport d'objets physiques : le modèle OLI [6] et le modèle NOLI [4]. La Table 0 ci-dessous donne une vue de l'ensemble.

Tous ces modèles sont divisés en une série de niveaux (ou couches), chargés chacun de résoudre ou gérer une partie de ce problème. Les couches sont empilées, une couche N utilisant les services donnés par la couche N-1 au dessous, et fournissant des services à la couche N+1 au dessus. Chaque couche inclut une liste des services qu'elle assure, et une description des interfaces standard permettant d'utiliser ces services.

Table 0. Modèles de référence pour les réseaux électroniques et logistiques

TCP/IP Layer Name (Internet)	**OSI reference Model Layer Name (electronic network)**	**OLI Layer Name (logistic network)**	**NOLI Layer Name (logistic network)**
Application	7. Application	7. Logistics Web	7. Product
	6. Presentation	6. Encapsulation	6. Container
	5. Session	5. Shipping	5. Order
Transport	4. Transport		4. Transport
Network	3. Network	4. Routing	3. Network
		3. Network	
Network Access	2. Data Link	2. Link	2. Link
Physical	1. Physical	1. Physical	1.Physical Handling

La figure 0 présente la structure du modèle de référence NOLI, avec ses 7 couches et certaines des fonctionnalités de chacune de ses couches.

Dans notre modèle NOLI, la couche 6 est chargée de définir les types possibles d'objets physiques transportables et les conteneurs standards modulaires pouvant être utilisés pour les transporter. Elle est aussi chargée de livrer aux points de départ les conteneurs vides pour qu'ils y soient remplis, et de récupérer aux point d'arrivée les conteneurs une fois ceux-ci vidés.

Un des problèmes que doit gérer cette couche 6 est que certains conteneurs sont plus rares et plus chers que d'autres. Ces conteneurs sont plus sophistiqués que les conteneurs basiques, car ils sont utilisés pour le transport de marchandises spécifiques ou dans des conditions particulières. Parmi ces conteneurs spécialisés, on trouve en particuliers les conteneurs à température dirigée (ou reefers), qui permettent par exemple le transports d'aliments surgelés, ou de médicaments.

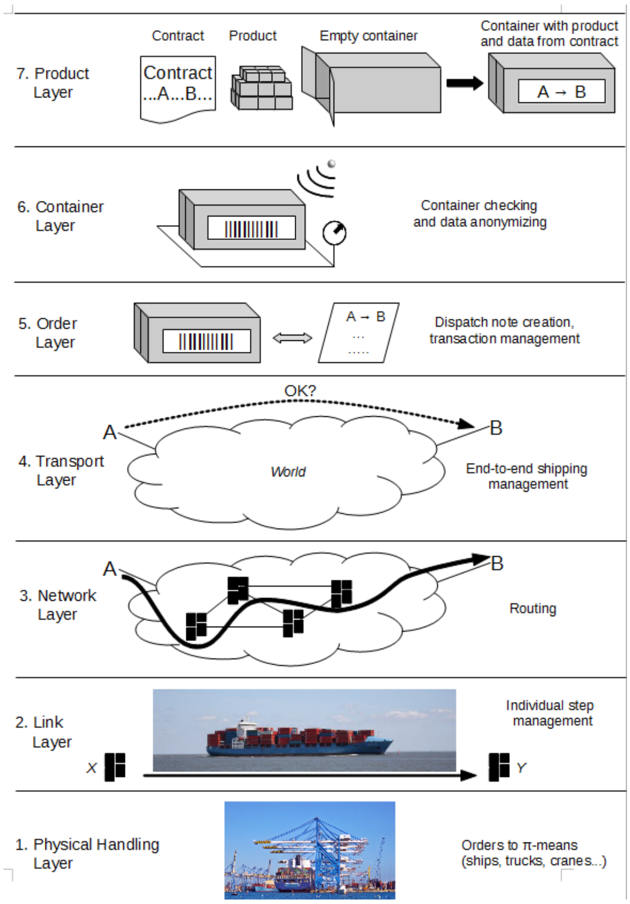


Fig0. Exemple de la structure du modèle de référence NOLI.

En raison des déséquilibres permanents ou saisonniers des échanges, il est très courant que ces conteneurs rares et chers s'accumulent aux points de livraison (villes, ports, etc.) une fois vidés, et qu'ils soient rarement disponibles aux points de départ pour être remplis (entrepôts de fruits et légumes, usines pharmaceutiques, etc.). Pour assurer une bonne mutualisation des ressources (qui est un des buts d'un Internet Physique), il est donc nécessaire de réduire ces déséquilibres en transportant efficacement ces ressources rares depuis les points où ils sont en surnombre, vers les points où ils manquent.

Une première solution consiste à gérer un parc de transpoteurs dédiés au rééquilibrage. Il s'agit alors de trouver une séquence S de stations (ports, etc.) visitées par ces transporteurs, et leur faire déplacer ces ressources pour amener le système de l'état initial X à l'état souhaité Y, de sorte que la distance totale parcourue dans la séquence S soit aussi petite que possible. (([3], [1] , [6])).

Une seconde solution, étudiée dans cet article, consiste à essayer d'utiliser les trajets retour des transporteurs (camions, bateaux, etc.) qui sont souvent faits à vide ou presque. Dans cet article, nous étudions cette solution, en supposant en plus qu'il est possible, moyennant finance, de faire faire des déviations à des transporteurs, pour aller chercher des ressources rares vides ou pour les déposer dans des points en dehors des chemins les plus souvent utilisés.

Nous proposons un algorithme efficace pour inciter au prix le plus bas les transporteurs à prendre puis à déposer des ressources rares, et même à dévier de leur chemin pour le faire. Notre solution est basée sur le calcul de plus courts chemins (Warshall), puis sur la résolution d'un poblème de transport (Methode de Stepping Stone [1] qui est une variante de la méthode du Simplex).

II. Description du probleme

Le problème est modélisé à l'aide d'un graphe $G(V,U)$, V est un ensemble d'emplacements (ports, π-hub ...), représentant des unités de production (usines ...) et des unités de consommation (villes, usines ...). Les arcs $\{U\}$ est l'ensemble des chemins physiques entre les emplacements, ces arcs sont valués par un coût $\{d_{i,j}\ ;\ (i,j) \epsilon U\}$ qui représente la distance entre i et j. Les emplacements $\{v \epsilon V\}$sont valués par une paire (x_v : offre, y_v : demande) de reefers. Chaque emplacement v ϵ V peut recevoir, stocker et envoyer ces conteneurs.

Voici un exemple :

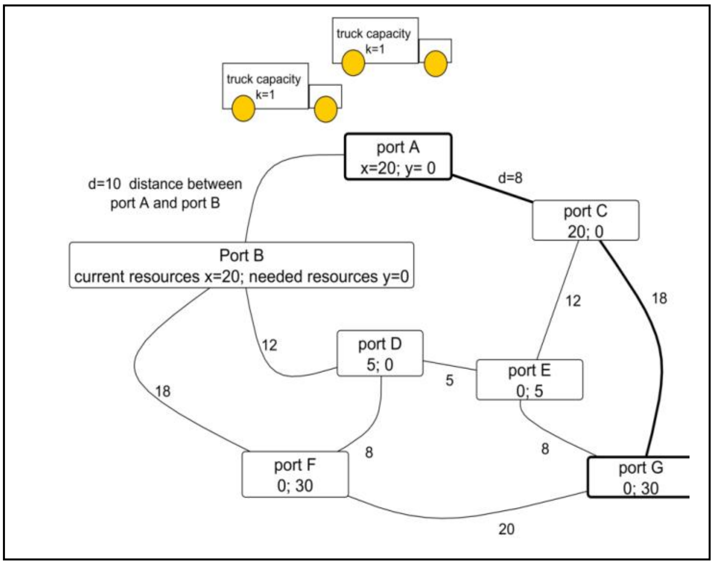


Fig1. Exemple de graphe dans lequel chaque sommet a une valeur x des ressources actuelles et une valeur y des ressources nécessaires Chaque arête est évaluée par sa longueur d.

III. Algorithme propose

A. *Algorithme général*

L'algorithme proposé fonctionne en quatre étapes :

La première étape de l'algorithme construit une table des plus courts chemins entre toutes les paires de nœuds de ce graphe, en utilisant l'algorithme de Warshall-Roy [7].

La deuxième étape déduit les coûts de déviation supplémentaires de tous les trajets entres tous les nœuds du graphe, en se basant sur la table construite durant l'étape 1.

La troisième étape se sert de ces résultat pour formuler un problème de transport classique entre nœuds sources et nœuds destinations, solvable avec l'algorithme de Stepping-Stone (3).

La dernière étape impose un ordre sur les trajets à accomplir, les moins coûteux en premier. Les camions sont affectés aux trajets dans l'ordre croissant des coûts de déviation.

B. Détails de l'algorithme

Nous appliquons cet algorithme sur le graphe de la Fig. 1

Étape 1: Calculez la table des chemins les plus courts (spt) entre toutes les paires de sommets à l'aide de l'algorithme Warshall -Roi:

TABLE1 La longueur du plus court chemin entre toutes les paires de sommets

	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
A	0	10	8	22	20	28	26
B	10	0	18	12	17	18	25
C	8	18	0	17	12	25	18
D	22	12	17	0	5	8	13
E	20	17	12	5	0	12	8
F	28	18	25	8	12	0	20
G	26	25	18	13	8	20	0

TABLE 2. La table des successeurs

	A	B	C	D	E	F	G
A	A	B	C	B	C	B	C
B	A	B	A	D	D	F	D
C	A	A	C	E	E	E	G
D	B	B	E	D	E	F	1E
E	C	D	C	D	E	D	G
F	B	B	D	D	D	F	G
G	C	E	C	E	E	F	G

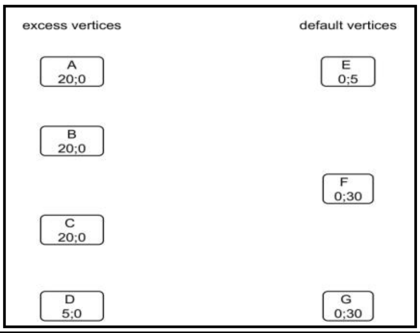
Ce dernier tableau permet de tracer le plus court chemin entre tous les sommets. Par exemple dans le chemin allant de A à D le successeur de A est B puis le successeur de B est D, le chemin sera donc (A, B, D)

Étape 2: Déduire le coût de la déviation entre tous les sommets. Le coût pour envoyer un camion d'un sommet S à un sommet R = le coût pour aller de A à S + le coût pour aller de S à R + le coût pour aller de R à G - le coût chemin pour aller de A à G

TABLE 3. Le Coût du plus court chemin avec déviation entre toutes les paires de sommets

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	9	0	9	9	22	0
B	10	0	10	9	9	12	9
C	8	17	0	9	2	29	0
D	22	33	31	0	2	14	9
E	40	36	24	12	0	26	2
F	56	45	55	23	23	0	22
G	52	50	36	26	16	40	0

Étape 3: Utiliser la méthode de Stepping-Stone pour résoudre le problème de transport suivant :



	E	F	G
A	9	22	0
B	9	12	9
C	2	29	0
D	2	14	9

Fig2. Problème de transport issu de l'exemple 1

Ce qui donne la solution suivante :

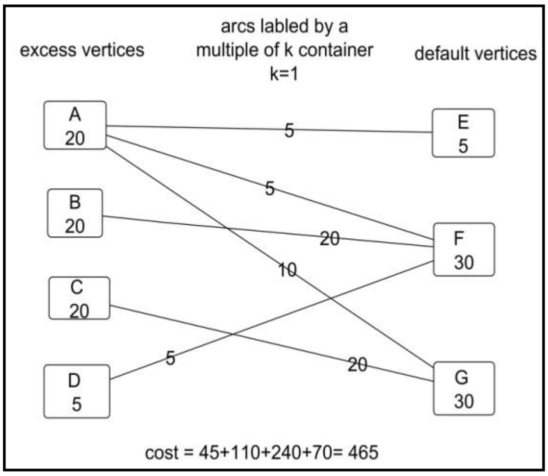


Fig3. La solution donnée par la méthode de Stepping-Stone
Par exemple la valeur 5 associée à l'arc (A,E) donne le nombre de conteneurs envoyé de A à E.

Dans cette solution : 5 camions (de capacité k=1) ramènent 5 conteneurs de A à E par le plus court chemin (donc ici en passant par C comme l'indique la table des successeurs (Table 3)), puis de E partent vers G (la destination finale) par le plus court chemin de E à G.

5 camions ramènent 5 conteneurs de A à F (en passant B) puis de B vers G par le plus court chemin de B à G, qui est ici (B,D,E,G).

10 camions vont servir G qui est ici leur destination finale.

20 camions (numéro 21-40) partent vide de A vers B, puis quittent B remplis pour aller servir F, puis quittent F vides vers G. Les autres conteneurs à transporter seront traités de la même façon.

On peut noter cependant que cette solution suppose que le nombre de camions retournant vides de A vers G est non limité.

Si le nombre de camions est limité, alors il faut essayer de servir le maximum de demande avec le minimum de coûts. Ce qui est alors accompli à l'aide de l'étape 4 supplémentaire suivante:

Étape 4: Dans un problème avec un nombre limité *p* de transporteurs, on trie les trajets par ordre croissant suivant le coût de la déviation de trajectoire (Table 3). Ensuite, les camions sont affectés aux trajets dans l'ordre croissant des coûts (0, 0, 12,...) correspondant aux couples de sommets (AG, CG, BF,...).

Donc dans l'exemple ci-dessus, les premiers trajets seront 10 conteneurs transportés directement de A à G (coût de déviation = 0).

S'il reste des camions vides, les trajets suivants seront 20 conteneurs pris en C, pour servir G (coût de déviation = 0). Ainsi G satisfait toutes ces demandes (10 + 20 = 30).

S'il reste des camions vides, les trajets suivant seront 20 conteneurs pris en B pour servir F (coût de déviation = 12). etc.

C. Analyse de l'algorithme

Pour un problème de dimension n l'algorithme de Warshall est un algorithme de complexité $o(n^3)$.

Stepping-Stone est une variante de la méthode de simplex, bien que l'efficacité pratique soit remarquable avec une convergence très rapide, le nombre d'itérations du simplex n'est pas polynomial : il existe des instances pathologiques prouvant ceci. Si on suppose que la méthode du simplex nécessite m itérations, alors la complexité du simplex est $o(n^2m)$.

D'où la complexité de notre algorithme est $o(n^3) + o(n^2m)$.

Si le nombre de camions disponibles est non limité, et si les offres sont égales aux demandes : $\sum_{v\in V} x_v = \sum_{v \in V} y_v$ alors tous les transports calculés dans l'étape 3 pourront être effectués, et l'ordre des trajets ne sera pas important. La solution proposée jusqu'à l'étape 3 (cf. figure 3) est une solution optimale.

IV. Discussion

Cet article se termine sur la présentation d'un certain nombre de remarques, sur le problème des situations de 'famines' (dans lesquelles certains nœuds très éloignés des trajets classiques risquent de ne jamais être desservis), ou sur le problème de rapprocher par petites étapes des ressources rares vides vers les endroits en manque.

On peut tout de même remarquer qu'il est nécessaire de faire attention aux cas possible de "famine (*starvation*), car certains nœuds très éloignés des trajets classiques risquent de ne jamais être desservis.

On peut noter aussi que seules les liaisons directes sont envisagées ici. Il serait possible d'étudier la possibilité de rapprocher petit à petit des ressources des endroits en manque. Des heuristiques, comme des algorithmes de fourmis, peuvent être envisagés.

V. Conclusion

Dans cet article, nous avons essayé d'utiliser les trajets retour des transporteurs (camions, bateaux, etc.) qui sont souvent faits à vide ou presque, pour rééquilibrer les ressources rares présentes dans un réseau logistique, dans le but de pouvoir améliorer la mutualisation des moyens dans le cadre d'un Internet Physique.

Nous avons proposé un algorithme efficace pour inciter au prix le plus bas les transporteurs à prendre puis à déposer des ressources rares, et même à dévier de leur chemin pour le faire.

Nous avons terminé sur une analyse des performances puis sur quelques remarques.

Reconnaissance

Ce travail est soutenu par la région Normandie, Projet CLASSE 2 "Corridors Logistiques: Applications à la Vallée de la Seine et Son Environnement ", France.

Références

[1] S. Anily and R. Hassin, The swapping problem, Networks 22, 419-433 (1992).

[2] A. Charnes, A. W.W. Cooper, "The Stepping Stone Method of Explaining Linear, in Transportation Problems", Management Science, Oct. 1954, pp. 49-69, (1954).

[3] J.-Y. Colin, M. Nakechbandi, H. Mathieu,"Management of mobile resources in Physical Internet logistic models", , ICALT 2015, 4th IEEE Int. Conf. on Advanced Logistics & Transport, Valenciennes, France, (2015).

[4] J.-Y. Colin, H. Mathieu, M. Nakechbandi, "NOLI A Proposal for an Open Logistics Interconnection Reference Model for a Physical Interne", IPIC 2017, 4th International Physical Internet Conference. (2017)

[5] Meunier F., Un problème de tournée inspiré par la régulation des systèmes de transport en libre-service, journée JFRO, 3-2012, Paris (2012).

[6] B. Montreuil, "Physical Internet manifesto: globally transforming the way physical objects are handled, moved, stored, realized, supplied and used" Technical Report, (2009).

[7] ROY B. Algebre moderne et theorie des graphes, Dunod (1970).