

DES OPERATEURS D'AGREGATION FLOUE "HORIZONTALS" POUR L'AIDE A LA DECISION EN TELEOPERATION

F.WAWAK, A.M.DESODT, D.JOLLY
Centre d'Automatique de Lille
Université des Sciences et Technologies de Lille
59655 Villeneuve d'Ascq Cedex
FRANCE

ABSTRACT

Works on decision in man/machine systems have lead to define new aggregation operators for fuzzy algebra that fit better with the problem considered. These operators realise an action on the x-axis but not on the y-axis as usually. Some of their applications on teleoperation systems are described.

MOTS CLES: décision, ensembles flous, compatibilité, agrégation, téléopération.

KEYWORDS: decision, fuzzy sets, compatibility, aggregation, teleoperation.

1) INTRODUCTION

De nos jours, l'automatisation d'un système tend à vouloir réintroduire l'homme dans le processus. C'est pourquoi une méthode d'aide à la décision appliquée à ce type de problème demande la prise en compte de critères souvent très imprécis et de natures très différentes. L'étude de ces méthodes nous a ainsi amené à considérer l'algèbre floue comme une méthode adaptée à la décision dans les systèmes homme/machine. Ce papier présente des travaux consistant à redéfinir les opérations d'agrégation existantes pour construire des opérateurs d'agrégation floue "horizontaux" que nous appliquerons en suite à la téléopération.

2) POSITION DU PROBLEME

Il existe un grand nombre d'opérateurs permettant d'agréger deux ensembles flous [YAGER 91]. Ils sont basés sur le principe suivant:

X est un univers d'éléments x, A et B sont deux ensembles flous définis sur X

l'agrégation $h(A,B)$ aura pour forme

$$\mu_{h(A,B)}(x) = h(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \forall x \in X$$

Ces opérateurs pourront être conjonctifs, disjonctifs ou constituer un compromis. Mais A et B doivent être définis sur le même univers X. Or dans l'application aux systèmes homme/machine, nous mettons en oeuvre des critères de natures différentes dont les évaluations ne pourront s'agréger sans être ramenées sur un même plan. Par exemple, la signification d'une même valeur pour la vigilance de l'opérateur [MESTIRI 92] et pour la quantité d'information fournie sur le système est différente. Pourtant ces critères doivent être pris en compte dans la décision avec leur propre signification [WAWAK,LEMAIRE 92]. Pour cela, la méthode suivante est employée.

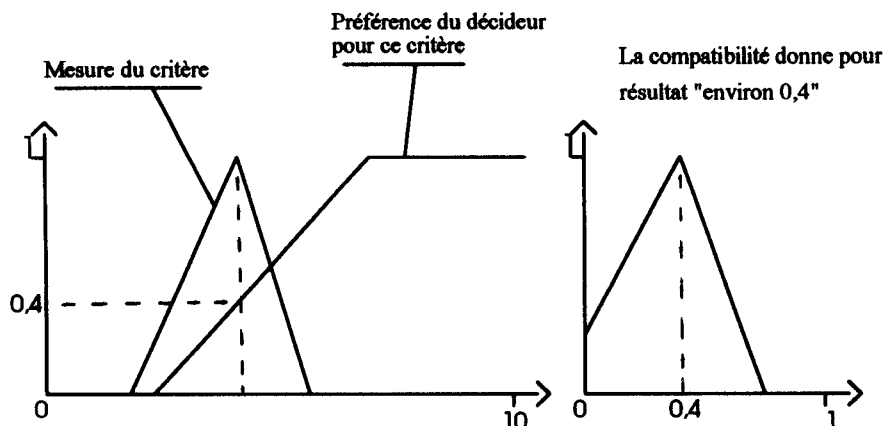
La préférence du décideur vis-à-vis d'un critère et la valeur de ce critère entachée d'imprécision (information sur l'état du système) sont exprimées sous forme d'ensembles flous. Le lien entre les deux sera réalisé par la compatibilité $\tau(A/B)$ [ZADEH 78]:

$$\mu_{\tau(A/B)}(a) = \sup(\mu_B(x) / x \in X, a = \mu_A(x))$$

$$= 0 \text{ si } \mu_{A^{-1}}(a) = \emptyset$$

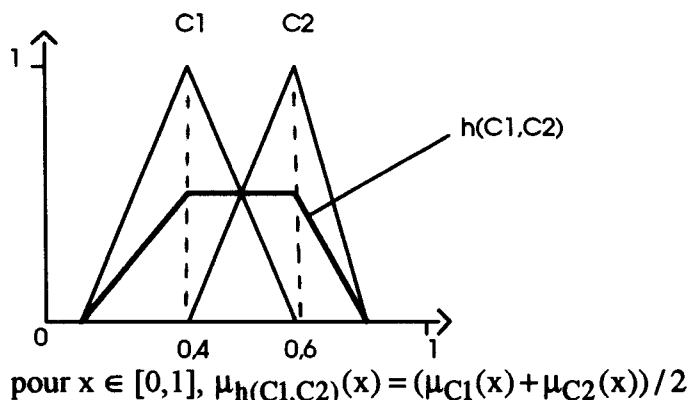
Nous obtenons ainsi une évaluation floue sur $[0,1]$ du degré de compatibilité de la mesure d'un critère par rapport à un modèle de préférence (voir exemple 1). Chaque critère est cette fois-ci décrit par une compatibilité [WAWAK 92].

EXEMPLE 1



Pour agréger ces critères, il faudrait pouvoir utiliser les opérateurs définis ci-dessus. Il apparaît alors un problème montré dans l'exemple suivant. Supposons que pour agréger les évaluations (compatibilités) de deux critères, l'opération adéquate soit la moyenne arithmétique. Si la première compatibilité est "environ 0,4" et la seconde "environ 0,6", nous devrions obtenir comme résultat "environ 0,5" or l'opération moyenne arithmétique définie comme précédemment ne donnera pas ce résultat (voir exemple 2). En effet, ces opérateurs agissent sur les ordonnées (degrés d'appartenance) pour une abscisse donnée (un élément de l'univers). Or pour notre application, les compatibilités se trouvent reparties en abscisse avec leur degré d'appartenance en ordonnée donc le compromis doit agir en abscisse et non en ordonnée. Il faut donc redéfinir les opérateurs d'agrégation "horizontalement".

EXEMPLE 2



3) LES OPERATEURS D'AGREGATION HORIZONTAUX

L'agrégation peut être redéfinie en utilisant les opérations unaires telles que la multiplication par un scalaire, l'inverse, l'élevation à une puissance, le maximum et le minimum et les quatre opérations arithmétiques usuelles +, -, ×, /, toutes étendues aux ensembles flous [DUBOIS, PRADE 85a].

Mais la compatibilité est définie sur [0,1]. Si nous voulons appliquer ces opérations étendues à deux compatibilités, il faudrait des compatibilités définies sur l'ensemble des réels \mathfrak{R} . Pour y remédier nous pouvons introduire la notion de compatibilité étendue à \mathfrak{R} . Elle se définit comme suit:

-si $C(x)$ est une compatibilité, x appartenant à [0,1], nous pourrions lui associer la compatibilité étendue suivante

$$C^*(x) = C(x) \quad \text{si } x \in [0,1]$$

$$C^*(x) = 0 \quad \text{sinon}$$

D'une compatibilité étendue, il est aisé de revenir à une compatibilité classique en ne tenant compte que de la partie définie sur [0,1]:

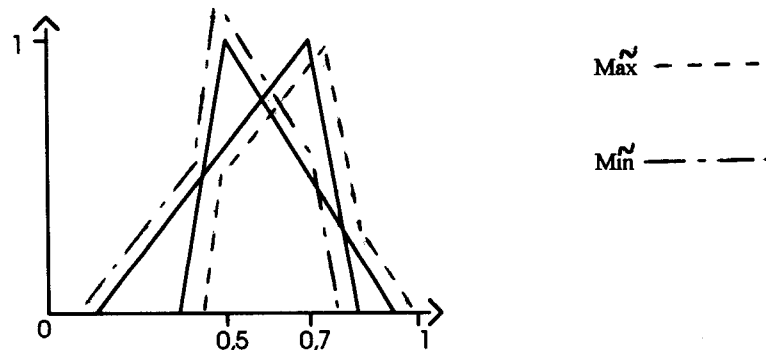
$$C_*(x) = C^*(x) \quad \text{pour } x \in [0,1]$$

Appliquons ces notions à quelques opérateurs horizontaux.

a) Minimum, maximum: \tilde{Min}, \tilde{Max}

Ces opérateurs ont déjà été définis [DUBOIS, PRADE 78]. Nous pouvons constater que ces opérations sont compatibles avec notre méthode si nous voulons obtenir le minimum ou le maximum de deux compatibilités (voir exemple 3).

EXEMPLE 3



Pour le minimum, nous obtenons bien la compatibilité minimale ("environ 0,5") élargie à gauche et rétrécie à droite par l'action des valeurs minimales atteintes par la seconde compatibilité, et inversement pour le maximum.

b) Moyenne arithmétique: \tilde{Arith}

Pour ce type d'agrégation, il faut utiliser la multiplication par un scalaire et l'addition étendues définies ainsi:

Q_1 et Q_2 étant deux ensembles flous, nous aurons pour λQ_1 et $Q_1 \oplus Q_2$

$$\mu_{\lambda Q_1}(x) = \mu_{Q_1}(x/\lambda); \quad \lambda \neq 0 \quad \forall x \in \mathfrak{R}$$

$$\mu_{Q_1 \oplus Q_2}(x) = \sup[\min(\mu_{Q_1}(u), \mu_{Q_2}(x-u)) / u \in \mathfrak{R}] \quad \forall x \in \mathfrak{R}$$

Pour la moyenne arithmétique horizontale, nous obtiendrons:

$$\widetilde{\text{Arith}}(C1, C2) = \left[1/2(C1^* \oplus C2^*) \right]_*$$

Remarque: Ne retenir que la partie sur $[0,1]$ pour le résultat final n'est pas gênant car nous pouvons vérifier qu'en dehors de $[0,1]$ les degrés d'appartenance sont ramenés à zéro. En effet, la compatibilité étendue n'a d'intérêt que dans le calcul intermédiaire de l'addition des deux compatibilités.

De plus, [DUBOIS, PRADE 85b] justifie l'addition des compatibilités par l'existence d'une propriété des coupes $-\alpha$:

pour deux ensembles flous M et N, nous aurons

$$M\alpha \oplus N\alpha = (M \oplus N)\alpha, \quad \alpha \text{ représentant la coupe } -\alpha$$

Ils mettent ainsi en évidence la généralisation du calcul d'erreur (addition de deux intervalles).

c) **Moyenne géométrique: Géom**

L'élevation à la puissance d'un ensemble flou $(Q1^\alpha)$ est définie par:

$$\mu_{Q1^\alpha}(x) = \mu_{Q1}(x^{1/\alpha}); \quad \lambda \neq 0 \quad \forall x \in \mathfrak{R}$$

et la multiplication $(Q1 \otimes Q2)$ par:

$$\begin{aligned} \mu_{Q1 \otimes Q2}(x) &= \sup \left[\min(\mu_{Q1}(u), \mu_{Q2}(x/u)) / u \in \mathfrak{R}^*, x \in \mathfrak{R}^* \right] \\ &= \max(\mu_{Q1}(0), \mu_{Q2}(0)) \quad \text{si } x = 0 \end{aligned}$$

La moyenne arithmétique étendue sera donnée par l'équation suivante:

$$\widetilde{\text{Géom}}(C1, C2) = (C1^* \otimes C2^*)^{1/2}_*$$

Remarque: La limitation sur $[0,1]$ de la compatibilité ne pose aucun problème vis-à-vis de la multiplication étendue et de l'élevation à une puissance du fait des propriétés suivantes:

si $x \in [0,1]$ et $u \in]0,1]$ alors $x/u \in [0,1]$ et $x^\alpha \in [0,1]$.

d) **Somme majorée et somme minorée: SMaj, SMin**

Cette agrégation demande l'introduction de la compatibilité étendue \tilde{a} définie par:

$$\mu_{\tilde{a}}(a) = 1$$

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = 0 \quad \text{pour } x \in \mathfrak{R} - \{a\}$$

La somme majorée étendue sera:

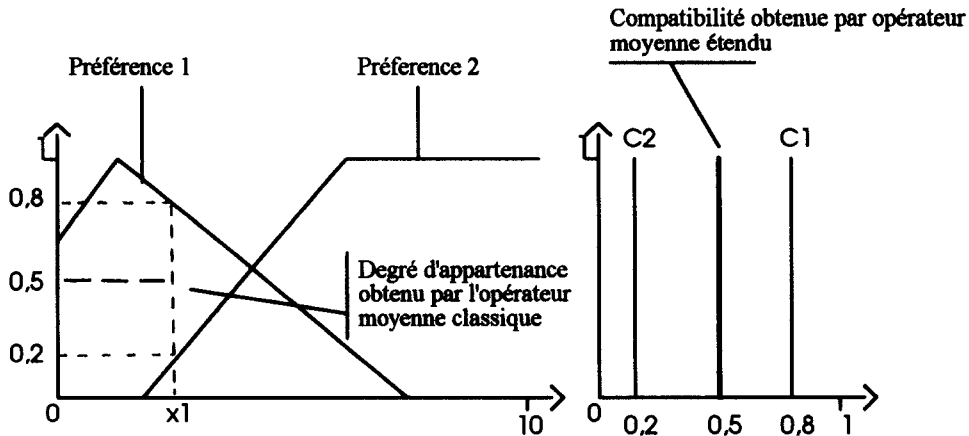
$$\widetilde{\text{SMaj}}(C1, C2) = \left[\widetilde{\text{min}}(\tilde{1}, C1^* \oplus C2^*) \right]_*$$

et la somme minorée étendue:

$$\widetilde{\text{SMin}}(C1, C2) = \left[\widetilde{\text{max}}(C1^* \oplus C2^* \ominus \tilde{1}, \tilde{0}) \right]_*$$

Remarque: En partant des nouvelles définitions, nous retrouverons les opérations d'agrégation classiques comme définies dans la partie 2 en considérant les préférences des deux critères définies sur le même univers X comparées à un élément non-flou x1. L'exemple 4 illustre cette situation.

EXEMPLE 4



4) APPLICATION A LA TELEOPERATION

La téléopération consiste à conduire un bras esclave dans un milieu hostile à l'homme à l'aide d'un bras maître en vue de réaliser une tâche déterminée. Or le développement de la Téléopération Assistée par Ordinateur (TAO) permet de conduire le bras esclave de façon automatique lorsque l'opérateur n'intervient que pour initialiser le système. Nous pouvons aussi disposer d'une conduite hybride de ces deux modes: la conduite semi-automatique (l'opérateur n'exécute en manuel qu'une partie de la tâche parallèlement à un déroulement automatique) alors que dans le mode manuel, le système est entièrement conduit par l'opérateur [GRAVEZ 88].

Une décision devant être prise à chaque instant quant au mode le plus adapté, nous allons étudier les critères qui engendreront cette décision.

a) Critères liés à la décision

Quatre critères principaux pourront être analysés:

- L'**Opérateur** devra être à même de parfaire la tâche qui lui sera confié.
- Le **Télémanipulateur** devra convenir à la tâche à exécuter.
- La **Communication** des informations entre le système esclave et le système maître devra s'établir et se dérouler correctement.
- La **Tâche** qui est confiée au système de téléopération devra réunir certaines conditions pour un bon déroulement de celle-ci.

Ces critères principaux seront en fait déterminés par les sous-critères suivants.

L'**Opérateur** sera évalué par sa **performance** vis-à-vis de la tâche qu'il aura à conduire et sa **vigilance** dépendant de son attention à un moment donné.

L'adaptation du **Télémanipulateur** à la tâche sera liée à sa **performance** technique en fonction du travail qu'il devra mener et de la **confiance** que lui accorde l'opérateur.

Des critères de **quantité** et de **qualité** seront exigés en ce qui concerne la **Communication** des informations.

La **Tâche** aura à convenir du point de vue de sa **simplicité** et de son **temps** d'exécution par rapport au temps disponible.

Nous retrouverons tous les critères réunis dans le tableau 1.

Pour notre algorithme d'aide à la décision, nous avons vu dans la deuxième partie de cet article que les critères s'exprimaient sous forme de compatibilités. Nous allons maintenant étudier l'agrégation de ces critères montrant ainsi l'utilisation des différents opérateurs d'agrégation.

b) Agrégation des sous-critères

La **Tâche** est déterminée par les sous-critères que sont la **simplicité** de cette tâche et son **temps** d'exécution. Or nous cherchons un compromis entre ces deux sous-critères, ce qui orientera le choix de l'agrégation vers une moyenne arithmétique. L'opérateur $A_{\tilde{r}ith}$ convient donc.

L'évaluation du **Télémanipulateur** est obtenue par la **confiance** que lui accorde l'opérateur et par la **performance** du télémanipulateur vis-à-vis de la tâche. En fait, il nous apparaît judicieux de mettre en avant pour cette évaluation le sous-critère le plus mauvais. D'où l'utilisation de $M_{\tilde{r}in}$ pour cette agrégation, opération qui ne conservera que le minimum.

Les exigences en vers l'**Opérateur** seront très fortes. En effet, les faiblesses de **performance** ou de **vigilance** ne pourront être tolérées alors que les fortes valeurs pourront se compenser. Le choix aboutit donc naturellement à la somme minorée $SM_{\tilde{r}in}$.

Le comportement envisagé concernant la **quantité** et la **qualité** de la **Communication** d'informations est du même ordre que pour l'opérateur mais en étant moins exigeant. Nous pourrions ainsi dans ce cas penser à combiner les effets des opérateurs $SM_{\tilde{r}in}$ et $A_{\tilde{r}ith}$ par l'opérateur global $Ge_{\tilde{r}om}(SM_{\tilde{r}in}, A_{\tilde{r}ith})$.

Tableau des critères

Critère principal	Opérateur	Télémanipulateur	Communication	Tâche
Premier sous-critère	Performance de l'opérateur	Confiance	Quantité	Simplicité
Deuxième sous-critère	Vigilance	Performance du télémanipulateur	Qualité	Temps
Opérateur agrégation	$SM_{\tilde{r}in}$	$M_{\tilde{r}in}$	$Ge_{\tilde{r}om}(SM_{\tilde{r}in}, A_{\tilde{r}ith})$	$A_{\tilde{r}ith}$

Tableau 1

5) CONCLUSION

Cette publication redéfinit quelques opérateurs d'agrégation afin de les utiliser dans un algorithme d'aide à la décision agrégeant des compatibilités. Ces opérateurs ont été mis en oeuvre dans le cadre particulier de la modélisation d'un système de téléopération. Il apparaît en fait possible de redéfinir ainsi tous les opérateurs existants pour pouvoir ensuite déterminer le mieux adapté à chaque problème. Nous envisageons actuellement leur application dans un système homme-machine manufacturier. D'autres travaux en cours s'intéressent à la mesure et à la modélisation de ces critères.

REFERENCES

- [DUBOIS, PRADE 78] "Operations on fuzzy numbers"
D. Dubois, H. Prade
Int. J. Syst. Sci. 9, pp 613-626.
- [DUBOIS, PRADE 85a] "Théorie des possibilités: Applications à la représentation des connaissances en informatique"
D. Dubois, H. Prade
Méthodes+Programmes, Masson.
- [DUBOIS, PRADE 85b] "Evidence measures based on fuzzy information"
D. Dubois, H. Prade
Automatica, Vol 21, pp 547-562.
- [GRAVEZ 88] "Etude d'un système de supervision pour la téléopération assistée par ordinateur"
Ph. Gravez
Thèse. Univ. des Sciences et Techniques de Lille. 1988
- [MESTIRI 92] "Evaluation of the vigilance variations during a teleoperated task"
S. Mestiri, D. Jolly, J.M. Jascquesson, A.M. Desodt
International Conference on Robotics and Computer vision ICARV'92, Singapore, 15-18 sept 1992, pp RO-10.2.1à2.5
- [WAWAK, LEMAIRE 92] "Choix de mode de commande en téléopération: comparaison d'algorithmes multicritères et flous"
F. Wawak, F. Lemaire, D. Jolly, A.M. Desodt
Conférence Canadienne d'Automatique Industrielle, 1-3 juin 1992, Montreal Canada
- [WAWAK 92] "Fuzzy logic for the choice of control mode in teleoperation"
F. Wawak, D. Jolly, A.M. Desodt
International Conference on Human Aspect of Advanced Manufacturing on Hybrid Automation, 26-28 août 1992, Gelsenkirchen Allemagne
- [YAGER 91] "Connectives and quantifiers in fuzzy sets"
R. Yager
Fuzzy Sets and Systems 40 (1991), North-Holland, pp 39-75
- [ZADEH 78] "PRUF-a meaning representation language for natural languages"
L.A. ZADEH
Int. J. Man-Machine Studies 10, pp 395-460