

Une Approche Globale de Fusion d'Adresses Postales Basée sur la Théorie des Fonctions de Croyance

A Global Approach for the Fusion of Postal Addresses based on the Belief Functions Theory

D. Mercier^{1,2}

G. Cron¹

T. Denœux²

M.-H. Masson²

¹ SOLYSTIC

² UMR CNRS 6599 HeuDiaSyC

Université de Technologie de Compiègne, BP 20529 - 60205 Compiègne cedex, dmercier@hds.utc.fr
14 avenue Raspail, 94257 Gentilly Cedex, genevieve.cron@solystic.com

Université de Technologie de Compiègne, BP 20529 - 60205 Compiègne cedex, tdenoeux@hds.utc.fr
Université de Picardie Jules Verne, BP 20529 - 60205 Compiègne cedex, mmasson@hds.utc.fr

Résumé :

Un modèle de fusion de décisions de lecteurs d'adresses postales (LAP) basé sur la théorie des fonctions de croyance est exposé. Ce cadre théorique offre une grande flexibilité dans la représentation et la combinaison des décisions fournies par les LAP, chacun pouvant fournir une adresse postale complète ou partielle. Dans cet article, nous détaillons le cadre de discernement choisi et l'affectation des masses qui repose sur une organisation des décisions suivant une hiérarchie. Les premiers résultats montrent une réelle amélioration des performances comparée aux performances individuelles des LAP.

Mots-clés :

Fusion d'adresses postales, Modèle des Croyances Transférables (MCT), Affectation hiérarchique.

Abstract:

a model for the fusion of decisions of postal addresses readers (OCR engine) based on the Dempster-Shafer Theory is exposed. This theoretical framework offers a great flexibility in the representation and combination of the decisions provided by the OCR, each one being able to provide a complete or partial postal address. In this article, we detail the chosen framework and the hierarchical mass assignment. First results show a real improvement of the performances compared with the individual performances of each OCR.

Keywords:

Postal address fusion, Transferable Belief Model (TBM), Hierarchical assignment.

1 Introduction

La reconnaissance automatique d'adresses postales est un problème difficile, recourant à une chaîne complexe de traitements variable suivant les pays [2]. Cette chaîne débute par l'acqui-

sition d'une image d'un courrier sur lequel se trouve l'adresse du destinataire à identifier. Elle implique différents algorithmes de reconnaissance de formes orientés vers le courrier manuscrit ou dactylographié. Elle se conclut par la sortie d'un code associé à une adresse postale se trouvant dans une base de données contenant l'ensemble des adresses postales du pays traité. Cette chaîne de traitement définit un *lecteur d'adresses postales (LAP)*, encore appelé "*moteur OCR*". Une voie d'amélioration de la reconnaissance globale d'un courrier réside dans la combinaison ou fusion de différents LAP. Une décision fondée sur un grand nombre d'informations d'origines et de natures variées est généralement plus fiable et plus précise que toute décision prise individuellement par chaque source d'information [1, 3].

Les solutions existantes abordent le problème à partir de principes de votes à la majorité ou pondérés, ou d'heuristiques de combinaison [4, 7]. Une autre approche est proposée ici, basée sur le *modèle des croyances transférables (MCT)* [10]. Le MCT est une interprétation non probabiliste de la théorie de Dempster-Shafer [9]. Il permet de gérer des informations aussi bien incertaines qu'imprécises, et fournit nombre d'outils pour la combinaison d'informations.

Dans cet article nous décrivons la problématique de fusion d'adresses postales et montrons comment un modèle basé sur le MCT peut s'appliquer.

L'organisation de cet article est la suivante. Dans le paragraphe 2, les concepts de base du MCT sont rappelés. Le paragraphe 3 présente la problématique des informations postales à fusionner. Le paragraphe 4 expose les fondations d'un modèle de fusion d'adresses postales basées sur le MCT. Enfin, le paragraphe 5 conclut et aborde les perspectives.

2 Le Modèle des Croyances Transférables

Dans le cadre du MCT, deux niveaux sont distingués dans la modélisation du raisonnement de l'agent rationnel en charge de la prise de décision : le niveau *crédal*, où sont représentées et manipulées les informations disponibles ; et le niveau *pignistique* ou *décisionnel*, siège de la construction de la décision de l'agent.

2.1 Représentation des connaissances

Soit X une variable à valeurs dans un ensemble fini $\Omega = \cup_{k=1}^K \{\omega_k\}$, appelé *cadre de discernement* ou *univers*. La connaissance détenue par un agent rationnel Ag , quant à la valeur ω_0 effectivement prise par X , peut être quantifiée par une fonction de masse définie sur l'ensemble des parties de Ω , à valeurs dans $[0, 1]$, telle que $\sum_{A \subseteq \Omega} m_{Ag}^\Omega(A) = 1$.

$m(A)$ représente la *part de croyance* de Ag sur le fait « $\omega_0 \in A$ ». Un élément de masse non nulle est appelé *élément focal*.

2.2 Manipulation des connaissances

Un des grands intérêts de la théorie des fonctions de croyance pour la fusion d'informations réside dans le large spectre d'outils offerts pour manipuler les fonctions de croyance [10]. Nous nous limitons ici à la présentation de quelques règles de combinaison utilisées dans le modèle

exposé dans le paragraphe 4.

Deux fonctions de masse, m_1 et m_2 , peuvent être combinées en utilisant la *règle de combinaison conjonctive* définie par :

$$m_1 \odot m_2(A) = \sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C), \quad \forall A \subseteq \Omega. \quad (1)$$

Par cette règle le produit des masses est transféré sur l'intersection des éléments focaux. Une stratégie plus prudente consiste à transférer cette masse sur l'union : ce qui définit la *règle de combinaison disjonctive*. Un compromis est défini par la règle de combinaison de Dubois-Prade [6] consistant à transférer ce produit sur l'intersection si celle-ci est non vide, sinon sur l'union. Cette dernière règle n'est pas associative, ainsi l'ordre dans lequel les sources sont combinées à une importance.

2.3 Prise de décision

Lorsqu'une décision doit être prise, des *principes de rationalité* [5] justifient la stratégie consistant à choisir la décision d parmi un ensemble de décisions possibles \mathcal{D} minimisant le *risque espéré* défini par :

$$\rho(d) = \sum_{\omega \in \Omega} c(d, \omega) P^\Omega(\{\omega\}), \quad (2)$$

où $P^\Omega : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$ est une mesure de probabilité et $c : \mathcal{D} \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ une fonction de coût. $c(d, \omega)$ représente le coût de décider d sachant que la vérité est ω .

À ce niveau, la fonction de croyance obtenue après combinaison doit donc être *transformée* en une mesure de probabilité. Une solution consiste à utiliser la *transformation pignistique* en calculant la *probabilité pignistique* définie par :

$$BetP(\{\omega\}) = \sum_{\{A \subseteq \Omega, \omega \in A\}} \frac{m(A)}{|A| (1 - m(\emptyset))}. \quad (3)$$

3 Problématique

Un *lecteur d'adresses postales (LAP)* peut être modélisé comme un processus lié à une base de données d'adresses postales, prenant en entrée une image et retournant un code, appelé *code d'indexation*, associé à une adresse postale de la base de données.

Dans cet article, tous les LAP sont supposés utiliser les mêmes données postales.

Une adresse postale est composée d'une *partie acheminement* et d'une *partie distribution*. La partie acheminement indique le bureau de distribution, en général la ville de destination de l'envoi postal. La partie distribution indique le lieu précis de délivrance de l'envoi. Elle est relative, soit à un pas de porte dans une rue et dans ce cas nous parlerons de *distribution géographique*, soit à des mentions spéciales de distribution dépendantes du pays traité, que nous nommerons *distribution spéciale*. Par exemple, en France, se trouvent parmi les distributions spéciales : les boîtes postales, TSA, autorisation, libre réponse, etc.

Le code d'indexation est composé d'un code acheminement, codant la partie acheminement de l'adresse, et d'un code distribution codant la partie distribution. Dans cet article, nous utiliserons des notations simplifiées. Nous noterons une partie acheminement par A_i , une boîte postale par B_j , une rue par R_k , où i, j et k sont des indices. Un numéro de pas de porte dans une rue sera noté tel quel. Ainsi, " A_2R_26 " codera le numéro 6 rue R_2 dans A_2 ; par exemple, il pourrait s'agir de l'adresse "*6 avenue Victor Ségoffin - 31400 Toulouse*". De même, " A_3B_1 " codera la boîte postale B_1 dans A_3 ; par exemple, il pourrait s'agir de l'adresse "*BP 20529 - 60205 Compiègne Cedex*".

La reconnaissance complète d'une adresse postale étant une tâche complexe, un LAP est autorisé à fournir des décisions partielles. Par exemple, un LAP relativement sûr de la reconnaissance de la ville (par exemple A_2), mais

dont la reconnaissance de la rue pose problème (aucun candidat présent dans la base de données ne se détache), pourra décider la ville et "*rejetter la rue*", ce que nous noterons " A_2Rej ". Un rejet complet sera noté "*Rej*", dans ce cas, aucun élément d'information n'est proposé par le LAP.

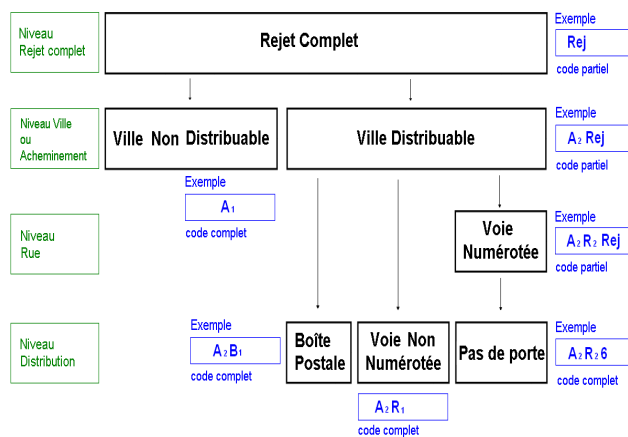


Figure 1 – Hiérarchie des niveaux de décisions autorisées pour chaque LAP avec des exemples associés.

Le choix des niveaux de décision se fait en accord avec une hiérarchie de décisions. La hiérarchie que nous utiliserons à titre d'exemple dans cet article est illustrée sur la figure 1.

Supposons disposer de N LAP OCR_i , $i \in \{1, \dots, N\}$. Chaque LAP est supposé utiliser la même hiérarchie. La problématique consiste à fournir, pour chaque image, la meilleure décision possible connaissant les N décisions issues des N LAP. Pour statuer sur cette "*meilleure décision*", des critères de performance sont définis de la manière suivante.

Définition 3.1 (taux de performance) À chaque niveau de la hiérarchie (par exemple en acheminement ou en distribution), il est possible de mesurer les performances d'un LAP OCR_i : le taux de lecture ou taux de reconnaissance est égal au pourcentage de bonnes décisions données par le LAP à ce niveau ; le taux d'erreur ou taux de substitution

est égal au pourcentage de mauvaises décisions données par le LAP à ce niveau; le taux de rejet T_i est égal au pourcentage de rejets données par le LAP à ce niveau.

Tout l'intérêt des modèles de combinaison réside dans l'obtention de performances se situant dans une zone favorable par rapport aux performances individuelles des LAP à fusionner : lire plus en faisant moins d'erreurs, ou lire plus à taux d'erreur comparable, ou lire autant à taux d'erreur moindre. Le paragraphe suivant donne les bases d'un tel modèle de combinaison.

4 Modèle de base

4.1 Choix du cadre de discernement et formalisation d'une adresse postale

Notre application a pour but d'identifier l'adresse du destinataire d'un courrier postal. Cette adresse doit se trouver inscrite sur le courrier et son code doit se trouver dans la base de données. Cependant, dans la réalité, il est possible que l'adresse inscrite sur ce courrier comporte des erreurs plus ou moins importantes. Ces erreurs peuvent être de natures très diverses : une contradiction peut être présente ; par exemple : le code postal inscrit ne correspond pas à l'intitulé de la ville, ou la rue n'est pas dans la ville, une information peut être absente ; par exemple : le numéro de pas de porte ou le code postal est oublié, des informations peuvent être indéchiffrables, raturées, illisibles même pour un humain ; etc.

Chaque type d'erreur doit ou non être corrigé en fonction de règles spécifiques au pays traité. Si l'adresse inscrite sur l'enveloppe ne contient pas d'erreurs ou contient une erreur qui doit être corrigée, alors cette adresse sera dite *valide*. Les adresses comportant des erreurs non rattrapables seront dites :

- *invalides ou totalement invalides* dans le cas où la ville, qui constitue le minimum à reconnaître, ne peut pas être reconnue ;

- *partiellement invalides* lorsque l'intitulé de l'adresse complète ne peut pas être reconnu, mais il est possible de décider des éléments de l'adresse situés au moins au niveau acheminement. Avec les niveaux considérés sur la figure 1, les adresses partiellement invalides correspondent soit au cas où la ville est reconnaissable mais pas la rue, soit au cas où la ville et la rue sont reconnaissables mais pas le numéro de pas de porte. Les parties invalides seront notées par "inv".

Ainsi, le cadre de discernement Ω est constitué de l'ensemble des adresses valides, de l'ensemble des adresses partiellement invalides et d'un élément représentant les adresses totalement invalides.

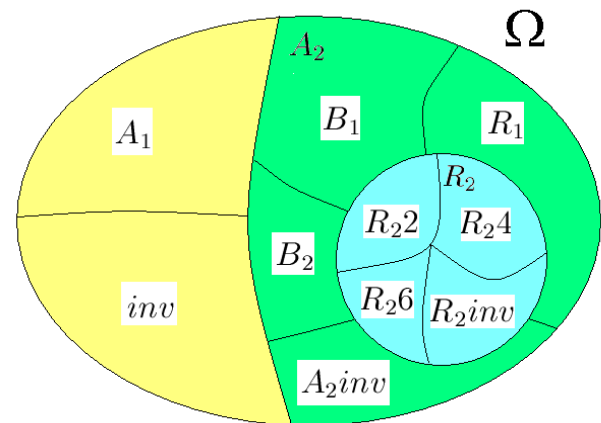


Figure 2 – Éléments du cadre de discernement associés à l'exemple 4.1.

Exemple 4.1 *Considérons une base de données ne contenant que deux points d'acheminement, A_1 et A_2 , où A_1 est non distribuable, et A_2 est distribuable. Si, de plus, A_2 est composé de deux boîtes postales, B_1 et B_2 , d'une rue non numérotée R_1 , et d'une rue numérotée R_2 comportant seulement trois numéros 2, 4 et 6. Alors, dans ce cas simple, les points d'invalidité partiels sont R_2inv (numéro invalide dans la rue R_2) et A_2inv (partie distribution invalide dans A_2), et tous les singletons de Ω peuvent être représentés sur la figure 2.*

Ω étant défini, toute information sur la véritable adresse pourra être modélisée par une fonction de croyance de cadre de discernement Ω . Par exemple, une information sur le fait que la véritable adresse se trouve dans une certaine ville sera modélisée par une part de croyance sur l'ensemble des éléments singletons de Ω composant cette ville.

4.2 Génération des fonctions de croyance

Le cadre Ω étant choisi, il reste à fixer les masses. Xu et al. [11], dans le cadre général de la fusion de classifieurs, ont proposé une affectation des masses fondées sur les matrices de confusion obtenues sur les décisions passées des classifieurs. Nous avons proposé d'étendre cette méthode au cas où les décisions sont organisées de manière hiérarchique [8]. Cette nouvelle affectation est détaillée dans ce qui suit.

Formellement, une *hiérarchie* est un arbre dont la racine est Ω , tel que l'ensemble des éléments de chaque *niveau* forme une partition de Ω . Par convention, on considère que le premier niveau est le niveau composé des singletons de Ω et le dernier niveau est celui composé de Ω .

Nous noterons :

- P le nombre de niveaux de la hiérarchie ;
- $\Omega^{(p)}$, $p \in \{1, \dots, P\}$, l'ensemble des décisions de niveau p de la hiérarchie ; par exemple, $\Omega^{(1)} = \Omega$ et $\Omega^{(P)} = \{\Omega\}$;
- $K^{(p)}$, $p \in \{1, \dots, P\}$, le cardinal de $\Omega^{(p)}$;
- ω_k^p , $p \in \{1, \dots, P\}$, $k \in \{1, \dots, K^{(p)}\}$, le $k^{\text{ième}}$ élément de $\Omega^{(p)}$;

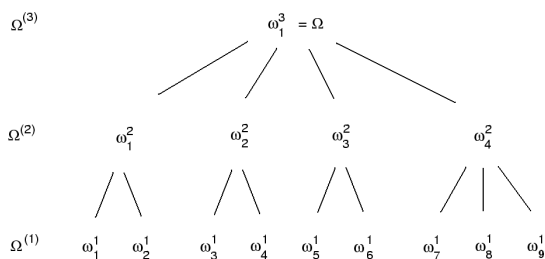


Figure 3 – Exemple d'une hiérarchie à trois niveaux.

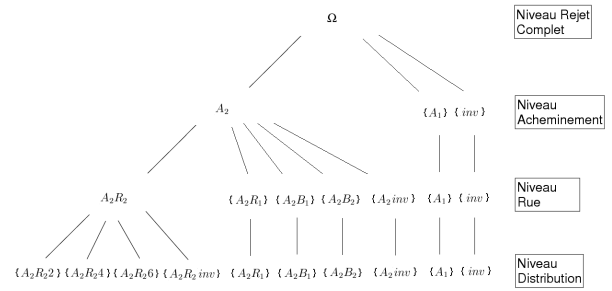


Figure 4 – Hiérarchie associée à l'exemple 4.1 lié à une base de données réduite.

La figure 3 illustre un exemple de hiérarchie à trois niveaux, et la hiérarchie de l'exemple 4.1 lié à une base de données réduite est représentée sur la figure 4.

Dans ce contexte de décisions multi-niveaux, il est possible de distinguer plusieurs types d'erreurs. Par exemple, supposons qu'un LAP fournisse une décision $\{A_2R_26\}$ située au niveau distribution de la hiérarchie représentée sur la figure 4. Si la vérité se trouve dans cette même rue mais à un numéro différent, par exemple $\{A_2R_22\}$, alors la décision est incorrecte. Cependant la vérité se trouve dans le même élément A_2R_2 situé juste au dessus dans la hiérarchie. Ainsi, la ville et la rue de la décision fournie sont communes avec la véritable adresse. Nous dirons que cette décision, incorrecte au niveau distribution, est correcte au niveau rue. Si cette même décision est fournie sur une lettre dont la vérité est $\{A_1\}$, le plus petit élément de la hiérarchie contenant cette décision et la vérité est Ω : cette décision, incorrecte au niveau distribution, n'est correcte qu'au niveau rejet complet. Aucun élément de l'adresse décidée n'est en commun avec la véritable adresse. Si la décision est l'ensemble de classes A_2 , i.e. est en faveur d'une adresse partielle « A_2Rej », et la vérité est A_2R_22 , cette décision, de niveau acheminement, est correcte au niveau acheminement. Pour chaque décision, il est possible de déterminer à quel niveau de la hiérarchie celle-ci est correcte. Une décision de niveau p correcte au niveau p , sera dite correcte.

Tableau 1 – Un exemple de matrice de confusion associée à un LAP fournissant des décisions en accord avec la hiérarchie représentée sur la figure 3.

Vérité	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8	ω_9
Décisions									
Niveau 1									
$\omega_1^1 = \{\omega_1\}$	34	<u>1</u>	1	0	0	0	0	0	0
$\omega_2^1 = \{\omega_2\}$	<u>2</u>	23	0	0	0	0	1	0	0
$\omega_3^1 = \{\omega_3\}$	0	1	24	<u>2</u>	0	0	0	0	0
$\omega_4^1 = \{\omega_4\}$	1	0	<u>3</u>	28	0	0	0	0	0
$\omega_5^1 = \{\omega_5\}$	0	0	0	1	35	<u>0</u>	0	1	0
$\omega_6^1 = \{\omega_6\}$	0	0	0	1	<u>3</u>	15	0	0	1
$\omega_7^1 = \{\omega_7\}$	0	2	3	0	4	1	20	<u>10</u>	<u>1</u>
$\omega_8^1 = \{\omega_8\}$	0	1	0	0	3	2	<u>5</u>	35	<u>1</u>
$\omega_9^1 = \{\omega_9\}$	0	1	0	3	2	0	<u>8</u>	<u>3</u>	31
Niveau 2									
$\omega_1^2 = \{\omega_1, \omega_2\}$	10	12	0	0	1	0	1	0	0
$\omega_2^2 = \{\omega_3, \omega_4\}$	0	1	20	9	0	0	0	2	0
$\omega_3^2 = \{\omega_5, \omega_6\}$	0	0	0	0	12	24	0	0	0
$\omega_4^2 = \{\omega_7, \omega_8, \omega_9\}$	0	2	4	6	0	3	24	12	15
Niveau 3									
$\omega_1^3 = \Omega$	1	2	0	4	1	2	1	0	2

Notons $n^{p,q}$ le nombre de décisions de niveau p correctes au niveau q où $q \in [p, P]$.

Exemple 4.2 *Considérons un LAP fournissant des décisions en accord avec la hiérarchie représentée sur la figure 3 et dont la matrice de confusion est donnée dans le tableau 1. Cette matrice de confusion contient des lignes en faveur de décisions de niveaux 1, 2 et 3. Les décisions de niveau 2 sont relatives à des ensembles de classes intermédiaires entre Ω et les singletons.*

Le nombre de décisions de niveau 1 correctes est égale à la somme des nombres inscrits en gras dans la matrice.

Le nombre de décisions de niveau 1 correctes au niveau 2 est égale à la somme des nombres inscrits en italique et soulignés dans la matrice. Ces nombres correspondent aux cas où la décision de niveau 1 fournie est incorrecte, mais la vérité se trouve dans l'élément parent dans la hiérarchie.

La somme des nombres restants à ce niveau correspond au nombre de décisions de niveau 1 correctes au niveau 3 : il faut remonter jusqu'à

Ω pour être dans le même élément que la vérité. L'élément parent de la décision ne contient pas la vérité.

Ainsi :

$$\begin{aligned}
 n^{1,1} &= 34 + 23 + 24 + 28 + 35 + 15 + \\
 &\quad 20 + 35 + 31 = 245, \\
 n^{1,2} &= 1 + 2 + 2 + 3 + 0 + 3 + 10 + 1 + 5 \\
 &\quad + 1 + 8 + 3 = 39, \\
 n^{1,3} &= 1 \times 8 + 2 + 3 + 4 + 1 + 1 + 3 + 2 \\
 &\quad + 1 + 3 + 2 = 30.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Nous proposons alors une méthode d'affectation basée sur la distance entre la décision fournie par le LAP et le plus petit élément de la hiérarchie contenant cette décision et la vérité.

Le nombre total d'objets classés au niveau p est noté par :

$$n^p = \sum_{q=p}^P n^{p,q}. \tag{5}$$

Soit u la fonction qui à un élément de la hiérarchie différent de Ω , associe son élément parent situé juste au dessus dans la hiérarchie. Par exemple, avec la hiérarchie représentée sur la figure 3, $u(\omega_3^1) = \omega_2^2$, et $u(\omega_2^2) = \omega_1^3$.

Sachant que le LAP fournit une décision d de niveau p , l'affectation hiérarchique proposée initialise m par :

$$\begin{aligned}
 m : \quad 2^\Omega &\longrightarrow [0, 1] \\
 u^{q-p}(d) &\longmapsto \frac{n^{p,q}}{n^p} \quad \forall q \in [p, P].
 \end{aligned} \tag{6}$$

Notons que si $d = \omega_1^P = \Omega$, alors $m(d) = m(\Omega) = \frac{n^{P,P}}{n^P} = \frac{n^P}{n^P} = 1$. Les fonctions de masse générées par cette affectation sont consonantes.

Exemple 4.3 (suite de l'exemple 4.2)

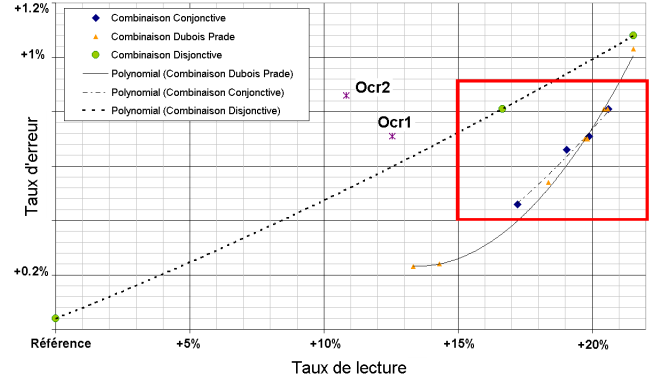
Reprenons le LAP de l'exemple 4.2, et supposons qu'il décide $\omega_3^1 = \{\omega_3\}$. Cette décision est de niveau 1. Le nombre total de décisions de niveau 1 fournies par la LAP est

$n^1 = n^{1,1} + n^{1,2} + n^{1,3} = 314$. L'affectation (6) conduit à représenter la décision de ce LAP par la fonction de masse m , telle que :

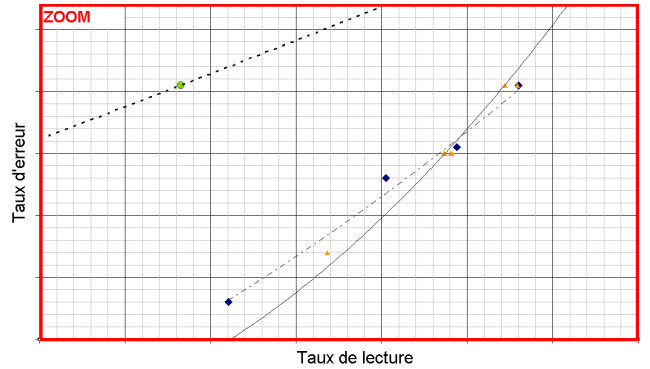
$$\begin{aligned}
 m(\omega_3^1) &= m(\{\omega_3\}) &= n^{1,1}/n^1 \\
 &= 245/314 &= 0.78, \\
 m(u(\omega_3^1)) &= m(\{\omega_3, \omega_4\}) &= n^{1,2}/n^1 \\
 &= 39/314 &= 0.12, \\
 m(u^2(\omega_3^1)) &= m(\Omega) &= n^{1,3}/n^1 \\
 &= 30/314 &= 0.10.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Par l'affectation précédente, les décisions d'un classifieur attachées à un même niveau de la hiérarchie sont représentées par une fonction de masse avec des poids de même valeur. Or, toutes les décisions d'un même niveau n'ont pas la même complexité. Par exemple, au niveau distribution de la hiérarchie représentée sur la figure 1, la détection d'une voie numérotée est plus complexe que la détection d'une voie non numérotée où le numéro de pas de porte n'est pas à identifier. De même, les décisions en faveur d'adresses comportant une distribution spéciale, où les intitulés sont moins nombreux et généralement plus étudiés que les intitulés de voie, possèdent des performances différentes de celles en faveur d'adresses en faveur de voie numérotée ou non numérotée. Par exemple, en France, une adresse « TSA 10002 à Compiègne », dont la distribution spéciale est composée d'un intitulé formaté et d'un numéro, est plus simple à reconnaître qu'une adresse « 17 rue Solférino à Compiègne » comportant un intitulé géographique soumis à de plus grande variation.

Afin de prendre en compte ces différences de réussite, des *catégories* de décisions sont introduites et représentées dans la hiérarchie. L'affectation précédente est alors étendue en se basant sur la même idée de distance. Les mêmes éléments focaux seront créés. Seules les valeurs des masses seront dépendantes du niveau de la décision fournie par le LAP et de la catégorie de décision. Dans l'équation (6), $n^{p,q}$ est remplacé par $n_c^{p,q}$ représentant le nombre de décisions de niveau p et de catégorie c correctes au niveau



(a) Points de fonctionnement de différentes combinaisons.



(b) Zoom sur le cadre dans la figure ci-dessus contenant des points de fonctionnement souhaités

Figure 5 – Points de fonctionnement de la fusion de deux LAP en fonction de différentes combinaisons utilisées.

q où $q \in [p, P]$; et n^p par le nombre total d'objets classés au niveau p et de catégorie c : $n_c^p = \sum_{q=p}^P n_c^{p,q}$.

Dans le paragraphe suivant, nous illustrons les performances de différentes combinaisons des fonctions de masse générées par cette affectation. Les différents points de fonctionnement de chaque combinaison sont obtenus en faisant varier les coûts de décision dans le calcul des risques (équation (2)).

4.3 Illustration de différents points de fonctionnement obtenus

La figure 5(a) illustre différents points de fonctionnement résultant de la combinaison de deux LAP obtenu à partir de différents coûts de décision et différentes combinaisons. Seuls

deux LAP étaient disponibles dans cette application, ainsi l'ordre de combinaison n'avait pas d'importance, d'où la considération de la combinaison de Dubois-Prade. Les points de fonctionnement attachés à une même combinaison ont été reliés par une interpolation polynomiale. Dans tous ces cas, le réglage des coûts permet de déterminer une zone de fonctionnement pour un comportement (taux de lecture, taux d'erreur) attendu. La figure 5(b) est un zoom sur les points de fonctionnement les plus recherchés. En général il est souhaité d'augmenter le plus possible le taux de lecture tout en restant le plus proche d'un taux d'erreur convenable, dans ce cas un taux d'erreur voisin du taux d'erreur des LAP à combiner.

Durant la phase d'exploitation, il a été observé que le réglage de la combinaison sélectionné pour obtenir un point de fonctionnement sur l'ensemble d'apprentissage permettait d'obtenir un point de fonctionnement voisin sur un ensemble de test, démontrant, certes expérimentalement, que ce réglage par les coûts de décision peut être robuste.

5 Conclusion et perspectives

Cet article présente un modèle de base pour la fusion d'adresses postales dont une des spécificités réside dans la possibilité de fournir des décisions à différents niveaux. Sur ce point, la combinaison peut être réglée pour fournir des décisions à tout niveau en fonction du couple (taux de lecture, taux d'erreur) toléré par le cahier des charges. Qualifié d'*approche globale* le modèle présenté ne tient compte que d'informations de performance sur des catégories de courrier. De nombreuses autres informations peuvent encore être prise en compte, parmi lesquelles des scores de confiance fournis par certains LAP en plus de leur décision. Des travaux sont actuellement en cours pour intégrer ces scores dans l'attribution des masses. Ce raffinement du modèle devrait encore améliorer la fusion proposée.

Références

- [1] A. Appriou. Perspectives liées à la fusion de données. *Science et Défense* 90, 1990.
- [2] B. Benyoub. Une application industrielle de reconnaissance d'adresses. *Actes du Colloque National sur l'Écrit et le Document*, pages 93–100, Nantes, France, Juillet 1996.
- [3] I. Bloch. *Fusion d'informations en traitement du signal et des images*. Hermès, Paris, France, 2003.
- [4] G. De Leo, M. Vicenzi, et C. Franzone. ELSAG SPA. European patent : Mail recognition method. Number : EP 1 594 077 A2, November 2005.
- [5] M.H. DeGroot. *Optimal Statistical decisions*. McGraw-Hill, New York, 1970.
- [6] D. Dubois et H. Prade. Representation and combination of uncertainty with belief functions and possibility measures. *Computational Intelligence*, 4 :244–264, 1988.
- [7] M. Fisher. Siemens AG. International patent : System and method for smart polling. Number : WO 2005/050545 A1, June 2005.
- [8] D. Mercier, G. Cron, T. Denœux, et M. Masson. Fusion of multi-level decision systems using the transferable belief model. *Proceedings of the 8th International Conference on Information Fusion (FUSION 2005)*, Philadelphie, E-U, July 25-29 paper C8-2, 2005.
- [9] G. Shafer. *A mathematical theory of evidence*. Princeton University Press, Princeton, N.J., 1976.
- [10] Ph. Smets et R. Kennes. The Transferable Belief Model. *Artificial Intelligence*, 66 :191–243, 1994.
- [11] L. Xu, A. Krzyzak, et C.Y. Suen. Methods of combining multiple classifiers and their applications to handwriting recognition. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 22(3) :418–435, 1992.