

Nouvelles théories de l'incertain: méthodes théoriques, modèles graphiques et applications dans les études de SdF et d'analyse de risque

Mohamed Sallak

Maître de Conférences / HDR
Laboratoire Heudiasyc UMR CNRS 7253
Université de Technologie de Compiègne (UTC)

02 Juin 2015

Plan

Contributions théoriques

1. Construction des données de fiabilité des composants.
2. Prédiction de la fiabilité des systèmes binaires.
3. Prédiction de la fiabilité des systèmes multi-états.
4. Proposition de facteurs d'importance imprécis.

Applications

1. Prédiction de la fiabilité des systèmes de signalisation ferroviaires.
 - Approche Statechart.
 - Approche VBS.
2. Analyse de risque dans les systèmes de transport.

Incertitude aléatoire vs. Incertitude épistémique

Incertitude aléatoire

- Variabilité naturelle des phénomènes aléatoires (Exemple: choix de la loi exponentielle en fiabilité).
- Irréductible.

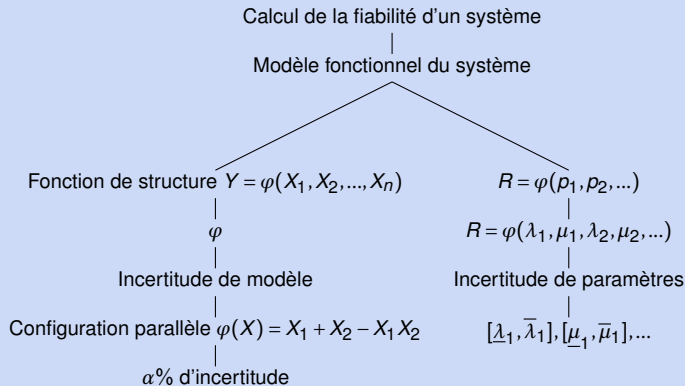
Incertitude épistémique

- Manque de données ou de connaissances (Exemple: taux de défaillance imprécis).
- Réductible.

Pourquoi cette distinction ?

- Choix de la bonne théorie de représentation des incertitudes.
- Aide à la décision en se concentrant sur les incertitudes réductibles.

Incertitudes des modèles vs. Incertitudes des paramètres



Théories de l'incertain

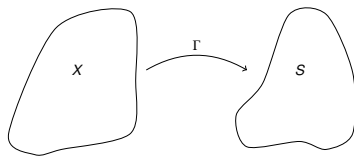
- Théorie des probabilités: probabilités objectives et subjectives.
- Théorie des ensembles flous.
- Théorie des possibilités.
- **Théorie des fonctions de croyance.**
 - La théorie des fonctions de croyance a été introduite par Dempster en 1969 et développée par la suite par Shafer.
 - Elle constitue un cadre unique pour la prise en compte des incertitudes aléatoires et épistémiques.
- **Théorie des probabilités imprécises (au sens de Walley).**
- Théorie des ensembles aléatoires.
- ...

Théorie des fonctions de croyance

- La théorie des fonctions de croyance a été introduite par Dempster en 1969 par l'utilisation des probabilités inférieures et supérieures.
- Elle a été développée par la suite par Shafer.
- Elle a été largement utilisée dans certains domaines comme la classification, la fusion d'information, les systèmes experts, ...
- Elle est bien adaptée à la modélisation de l'ignorance totale.
- Elle constitue un cadre unique pour la prise en compte des incertitudes aléatoires et épistémiques.

Théorie des fonctions de croyance

- $X = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$: ensemble d'un lot d'un composant C .
- $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$: Ensemble d'états possibles.
- Γ : application multi-valuée de X dans 2^S .



$$R = \{s_j, s_j, s_k\}$$

$$T^* = \{c_i \in X \mid \Gamma(c_i) \cap R \neq \emptyset\}, T_* = \{c_i \in X \mid \Gamma(c_i) \subset R\}, T = \{c_i \in X \mid \Gamma(c_i) = R\}$$

- $bel: 2^S \rightarrow [0, 1], bel(T) = P(T_*)$
- $pl: 2^S \rightarrow [0, 1], pl(T) = P(T^*)$
- $m: 2^S \rightarrow [0, 1], m(T) = P(T)$

Si Γ est une application mono-valuée de X dans S ($T^* = T_* = T$): mesure de probabilité classique.

Théorie des fonctions de croyance

Fonction de masse

- Ω : cadre de discernement.

Fonction de masse

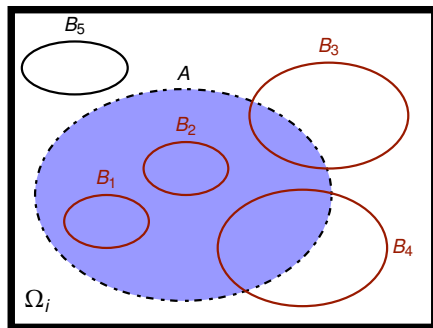
$m^\Omega : 2^\Omega \rightarrow [0, 1]$ tel que:

$$\sum_{A \subseteq \Omega} m^\Omega(A) = 1$$

- $m^\Omega(\emptyset) = 0$ (Hypothèse du monde clos)
- Élément focal: tout ensemble A tel que $m(A) > 0$.
- Masse Bayésienne: tous les éléments focaux sont des singletons.
- Masse logique: existence d'un seul élément focal.

Théorie des fonctions de croyance

Fonctions de masse, de crédibilité et de plausibilité



- $bel(A) = \sum_{\emptyset \neq B \subseteq A} m^{\Omega}(B)$
- $pl(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m^{\Omega}(B)$
- $m(A) = \sum_{B \subseteq A} (-1)^{|A|-|B|} bel(B)$

1ère Contribution: Construction des données de fiabilité des composants

A partir des données statistiques

- La construction des données de fiabilité des composants est une étape indispensable dans toute étude de SdF.
- Proposition de méthodes pour cette construction (taux de défaillance) dans le cadre des fonctions de croyance.
- On réalise n tests d'un composant binaire (loi de Bernoulli) afin d'évaluer son taux de défaillance $\lambda \in [0, 1]$.
- **Objectif: Obtenir les masses, les fonctions de crédibilités, et les fonctions de plausibilités de $\lambda \in [\alpha, \beta]$.**

1ère Contribution: Construction des données de fiabilité des composants: Loi de Bernoulli

Formules établies (à partir des travaux d'Almond)

X : Nombre total de défaillances observées lors de n tests.

$$bel(\lambda \in [\alpha, \beta]) = X \binom{n}{X} \int_{u=\alpha}^{u=\beta} u^{X-1} (1-u)^{n-X} du - \binom{n}{X} (\beta^X - \alpha^X) (1-\beta)^{n-X}; \quad 0 < X < n$$

$$pl(\lambda \in [\alpha, \beta]) = X \binom{n}{X} \int_{u=\alpha}^{u=\beta} u^{X-1} (1-u)^{n-X} du + \binom{n}{X} \alpha^X (1-\alpha)^{n-X}; \quad 0 < X < n$$

Exemple

On a testé 60 échantillon d'un produit c : 11 ont été trouvés défectueux. On souhaite obtenir les masses, les fonctions de crédibilités, et les fonctions de plausibilités de λ tel que: $\lambda = 0.1$ et $\lambda \in [0, 0.2]$.

λ	$[bel, pl]$
0.1	[0, 0.0196]
[0, 0.2]	[0.5173, 0.6623]

1ère Contribution: Construction des données de fiabilité des composants

A partir des avis des experts

- Cadre de discernement d'un composant binaire c : $\Omega_c = \{1_c, 0_c\}$.
- Un expert peut donner w_c et f_c :

$$\begin{cases} m_c^{\Omega_c}(1_c) & = & w_c \\ m_c^{\Omega_c}(0_c) & = & f_c \\ m_c^{\Omega_c}(\Omega_c) & = & 1 - f_c - w_c \end{cases}$$

- Un expert peut donner $\lambda \in [\underline{\lambda}, \bar{\lambda}]$:

$$\begin{cases} bel^c(1_c) & = & e^{-\bar{\lambda}t} \\ pl^c(1_c) & = & e^{-\underline{\lambda}t} \\ m_c^{\Omega_c}(\Omega_c) & = & e^{-\underline{\lambda}t} - e^{-\bar{\lambda}t} \end{cases}$$

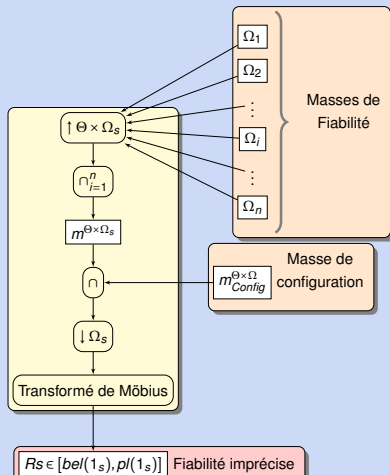
1ère Contribution: Construction des données de fiabilité des composants

Conclusions

- Des formules de construction ont été établies pour les lois usuelles utilisées en SdF: loi exponentielle et loi de Bernoulli.
- Des cas d'études avec des différents types de données ont été présentés pour illustrer la méthodologie de construction.
- Des comparaisons avec les paramètres de fiabilités obtenus en utilisant des a priori bayésiens (a priori de Jeffrey, a priori uniforme) ont été proposés.
- Les cas des taux de défaillances non constants et des taux de réparation doivent être traités.

2ème Contribution: Calcul de fiabilité des systèmes binaires

Approche classique proposée



2ème Contribution: Calcul de fiabilité des systèmes binaires

Approche efficace

- Formule d'Henri-Poincaré:

$$P(\cup_{i=1}^n A_i) = \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i<j} P(A_i \cap A_j) + \sum_{i<j<k} P(A_i \cap A_j \cap A_k) - \dots + (-1)^{n-1} P(\cap_{i=1}^n A_i)$$

- Super additivité des fonctions de crédibilités:

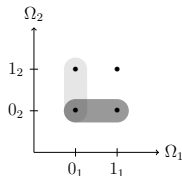
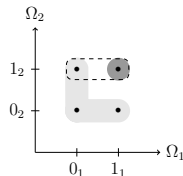
$$bel\left(\bigcup_{j=1}^N A_j\right) \geq \sum_{\mathcal{F} \subseteq \mathcal{A}} (-1)^{|\mathcal{F}|+1} bel\left(\bigcap_{A_j \in \mathcal{F}} A_j\right)$$

- **Objection de Lindley: Toute mesure d'incertitude doit être additive.**

2ème Contribution: Calcul de fiabilité des systèmes binaires

Approche efficace: Quelques définitions

- $A_1^a = \{(0_1, 0_2), (0_1, 1_2)\}$ est un hypercube ($A_1^a = \{(0_1)\} \times \{(0_2), (1_2)\} = \{(0_1, 0_2), (0_1, 1_2)\}$).
- $A_1^b = \{(0_1, 0_2), (0_1, 1_2), (1_1, 0_2)\}$ n'est pas un hypercube ($A_1^b \neq \Omega_1 \times \Omega_2$).
- A_a est un espace connecté: $bel(A_1^a \cup A_1^b) = bel(A_1^a) + bel(A_1^b) - bel(A_1^a \cap A_1^b)$.
- A_b n'est pas un espace connecté: $bel(A_1^a \cup A_1^b) \geq bel(A_1^a) + bel(A_1^b) - bel(A_1^a \cap A_1^b)$.

(a) $\mathcal{A}_a = \{A_1^a, A_2^a\}$ (b) $\mathcal{A}_b = \{A_1^b, A_2^b\}$

2ème Contribution: Calcul de fiabilité des systèmes binaires

Approche efficace

- Théorème: On considère une collection $A^* = \{A_1^*, A_2^*, \dots, A_N^* | A_j^* \subseteq \Theta\}$ de sous-ensembles mesurables, où Θ est l'ensemble des hypercubes B dans Θ , et Θ est l'espace produit d'un ensemble de cadres de discernement binaires. Si la masse m^Θ est uniquement positive sur les hypercubes B et A^* forme un espace connecté, la fonction de crédibilité devient une mesure additive:

$$bel\left(\bigcup_{j=1}^N A_j^*\right) = \sum_{\mathcal{J} \subseteq \mathcal{A}^*} (-1)^{|\mathcal{J}|+1} bel\left(\bigcap_{A_j^* \in \mathcal{J}} A_j^*\right)$$

- C'est le cas pour les chemins minimaux et les coupes minimales d'un système cohérent:

$$bel(1_s) = \sum_{\mathcal{J} \subseteq \mathcal{A}_p} (-1)^{|\mathcal{J}|+1} bel\left(\bigcap_{P_j \in \mathcal{J}} P_j\right)$$

$$pl(1_s) = 1 - \sum_{\mathcal{J} \subseteq \mathcal{A}_c} (-1)^{|\mathcal{J}|+1} bel\left(\bigcap_{C_k \in \mathcal{J}} C_k\right)$$

2ème Contribution: Calcul de fiabilité des systèmes binaires

Conclusions

- Nous avons définies deux méthodes de calcul de fiabilité des systèmes binaires.
- Nous avons prouvé que pour des systèmes cohérents, le calcul de la fiabilité des systèmes revient à un simple calcul utilisant les bornes inférieures et supérieures des fiabilités des composants.
- Le cas des systèmes non-cohérent doit être analysé: Nous avons prouvé que le théorème est applicable sur des systèmes non cohérents en absence d'incertitudes épistémiques.

3ème Contribution: Fiabilité des systèmes multi-états

- Le système comme ses composants peuvent fonctionner dans différents états (modes) caractérisés par différents niveaux de performance: systèmes multi-états.
- Méthode FGU (Ushakov 1986): efficace, facile à implémenter, tous les types de configuration.
- Pour un composant j : $U_j(z) = \sum_{i=1}^{k_j} p_i^j z^{g_i^j}$ (p_i^j : probabilité que le composant j soit dans l'état g_i^j).
- Pour le système: $U(z) = \sum_{i_1=1}^{k_1} \sum_{i_2=1}^{k_2} \dots \sum_{i_n=1}^{k_n} \prod_{j=1}^n p_{i_j}^j z^{\phi(g_{i_1}^1, \dots, g_{i_n}^n)}$.
- Objectif: Étendre la méthode FGU pour la prise en compte des incertitudes épistémiques dans les analyses de fiabilité.**

3ème Contribution: Fiabilité des systèmes multi-états

Méthode FGU étendue

- Pour un composant j : $u_j(z) = \sum_{k=1}^{F_j} m_j^{\Omega_j} z^{[g]_k^j}$.

$$m(E) = \begin{cases} p_k^j & \text{if } E = g_k^j \\ 1 - \sum_{k=1}^{F_j} p_k^j & \text{if } E = \Omega_j \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

- Pour le système: $U(z) = \sum_{i_1=1}^{F_1} \sum_{i_2=1}^{F_2} \dots \sum_{i_n=1}^{F_n} \prod_{j=1}^n m_j^{\Omega_j} z^{\phi([g]_{i_1}^1, \dots, [g]_{i_n}^n)}$.

- Disponibilité du système (à un niveau de performance r_i):

$$\delta_A^+(U(z)) = \sum_{i_1=1}^{F_1} \sum_{i_2=1}^{F_2} \dots \sum_{i_n=1}^{F_n} \prod_{j=1}^n m_j^{\Omega_j} \delta_A^+(z^{\phi([g]_{i_1}^1, \dots, [g]_{i_n}^n)}).$$

$$\delta_A^+(U(z)) = pl(A) \text{ et } \delta_A^-(U(z)) = bel(A).$$

3ème Contribution: Fiabilité des systèmes multi-états

Conclusions

- Nous avons proposé une méthode pour l'obtention des masses à partir des équations différentielles définissant les taux de défaillance et réparations des composants multi-états.
- Nous avons étendu la méthode FGU aux fonctions de croyance.
- Nous avons comparé les résultats obtenus avec les approches probabilistes classiques et par intervalle.
- La méthode FGU étendue a été prouvée plus conservative.
- La méthode FGU peut être étendue pour la prise en compte des performances imprécises.

4ème Contribution: Facteurs d'importance étendus

- Il est essentiel de pouvoir identifier les composants qui jouent un rôle plus important que d'autres en termes de fiabilité.
- En pratique, cette identification se fait au moyen des facteurs d'importance: mesurer l'effet du fonctionnement (la défaillance) d'un composant sur la défaillance du système complet.
- Extension des facteurs d'importance classiques: Birnbaum, RAW, RRW, et CR pour la prise en compte des fiabilités imprécises.
- Utilisation de l'arithmétique affine d'intervalles pour calculer les bornes inférieures et supérieures des facteurs d'importance.

4ème Contribution: Facteurs d'importance étendus

- L'arithmétique affine est une nouvelle approche présentée en 1994 pour la prise en compte les problèmes de dépendances dans l'arithmétique d'intervalles (surestimation des résultats).
- Le principe est le même que celui de l'arithmétique d'intervalles, à part que l'on va conserver une information affine tout au long des calculs.
- Intervalle \rightarrow Forme affine: $x = [\underline{x}, \bar{x}] \rightarrow x^* = \frac{x + \bar{x}}{2} + \frac{\bar{x} - x}{2}c$.

	Intervalle (IA)	Intervalle (AA)
Birnbaum	$[\underline{R}_{S 1_i}, \bar{R}_{S 1_i}] - [\underline{R}_{S 0_i}, \bar{R}_{S 0_i}]$	$[I_0^B(i) - h_i^B, I_0^B(i) + h_i^B]$
		$h_i^B = I_1^B(i) + I_2^B(i) $ $I_0^B(i) = R_{S 1_i,0} - R_{S 0_i,0}$ $I_1^B(i) = R_{S 1_i,1}$ $I_2^B(i) = R_{S 0_i,2}$

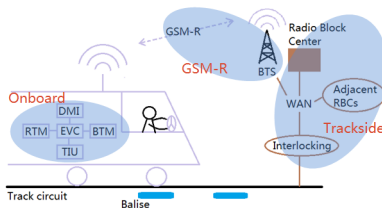
4ème Contribution: Facteurs d'importance étendus

Conclusions

- Nous avons proposé des facteurs d'importance permettant de traiter à la fois les incertitudes épistémiques et aléatoires.
- Ces facteurs sont basés sur l'arithmétique affine.
- Des facteurs d'importance d'incertitudes et de dépendances sont aussi en cours de développement.

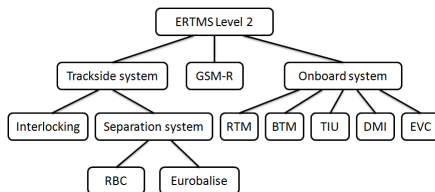
1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

- Système Européen de gestion ferroviaire (ERTMS)
 - Système Européen de contrôle des trains (ETCS).
 - GSM-R: sert à communiquer entre les trains et les équipements au sol de gestion du trafic.



- Objectifs
 - Proposition d'un modèle fonctionnel de l'ERTMS niveau 2;
 - Modélisation et propagation des incertitudes.
 - Évaluation de la disponibilité de l'ERTMS niveau 2 et du respect des exigences RAM des normes;

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS



- « ERTMS/ETCS RAMS Requirements Specification », 1998.
- « Safety Requirements for the Technical Interoperability of ETCS in Levels 1 & 2 », 2009.

		Indisponibilité
Onboard	Kernel	<1E-6
	Odometer	<1E-7
Lineside	Balise	<1E-7
	LEU	<1E-7
Trackside	RBC	<1E-6

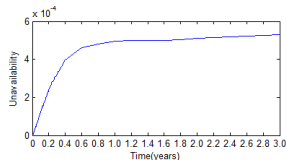
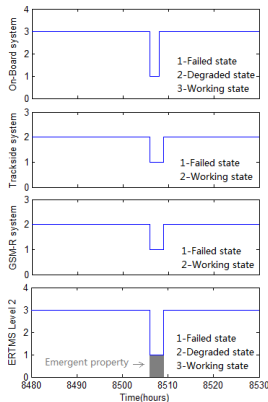
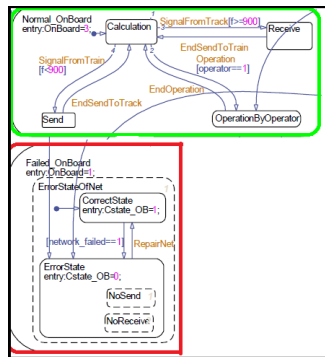
Objectif de disponibilité

Exigence RAM: La disponibilité opérationnelle due à toutes les causes de défaillances ne doit pas être inférieure à 0.99973

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

Modèle Statechart de l'ERTMS

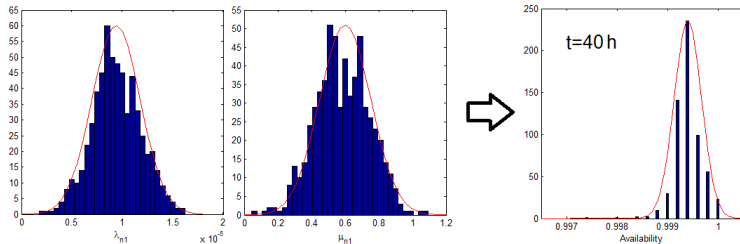
- Description des états de chaque sous-système de l'ERTMS et les communications entre ces systèmes.



1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

Prise en compte des incertitudes paramétriques dans le modèle Statechart

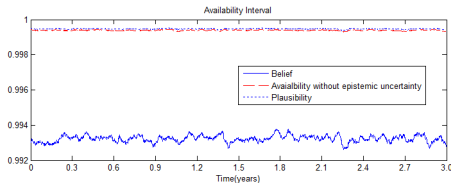
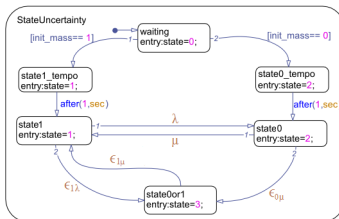
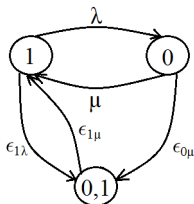
- Modélisation de l'imprécision des taux de transition $\lambda \in [\underline{\lambda}, \overline{\lambda}]$ et $\mu \in [\underline{\mu}, \overline{\mu}]$.
- Simulation Monte-Carlo à deux niveaux
 - Boucle extérieure : Tirage des taux de transition (λ, μ) modélisés par des distributions de probabilité: Uniforme et normale.
 - Boucle intérieure : Exécution du modèle.



1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

Introduction d'états incertains dans le modèle Statechart

- État incertain fictif pour représenter l'incertitude sur l'état du système (fonctions de croyance + Statecharts).



1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS par le modèle Statechart

Conclusions

- les Statecharts constituent un modèle intéressant pour la modélisation fonctionnelle des systèmes de signalisation ferroviaires: facilité de construction, régions orthogonales, modèles plus réduits.
- Un ensemble de modèles fonctionnels des sous-systèmes de l'ERTMS a été développé avec l'outil Stateflow de Matlab.
- Une méthodologie de modélisation des incertitudes a été développée pour l'évaluation de la SdF de l'ERTMS niveau 2.

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

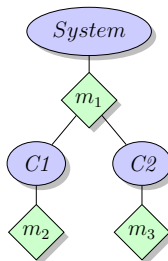
Modèle VBS de l'ERTMS

- VBS (au sens de Shenoy): modèle graphique représentant des variables aléatoires sous la forme d'un graphe non-orienté acyclique.
- Il est à la fois:
 - Un modèle de représentation des connaissances.
 - Un modèle de calcul de valuations (probabilités, possibilités, fonctions de croyance,...).
- Deux catégories de valuations:
 - 1ère catégorie: connaissances directes sur les variables;
 - 2ème catégorie: relations entre les variables;
- Processus de raisonnement: calcul de la masse jointe et puis projection sur la variable d'intérêt.

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

Modèle VBS de l'ERTMS

C1	C2	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



- $m_2^{\Omega_{C1}}(\{0\}) = 0.05$
- $m_2^{\Omega_{C1}}(\{1\}) = 0.95$
- $m_3^{\Omega_{C2}}(\{0\}) = 0.02$
- $m_3^{\Omega_{C2}}(\{1\}) = 0.98$

$$m_1^{\Omega_{C1}\Omega_{C2}\Omega_S}(\{(0,0,0), (0,1,0), (1,0,0), (1,1,1)\}) = 1$$

$$m^{\Omega_S}(\{0\}) = 0.069$$

$$m^{\Omega_S}(\{1\}) = 0.931$$

Incertitude de modèle

$$m_1^{\Omega_{C1}\Omega_{C2}\Omega_S}(\{(0,0,0), (0,1,0), (1,0,0), (1,1,1)\}) = 0.9$$

$$m^{\Omega_{C1}\Omega_{C2}\Omega_S}(\emptyset) = 0.1$$

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS

Modèle VBS de l'ERTMS

	Réseau bayésien	VBS
Modèle graphique	Graphe acyclique orienté	Graphe acyclique non orienté
Théories utilisées	Théorie des probabilités	Théorie des probabilités
	-	Théorie des fonctions de croyance
	-	Théorie des possibilités
	-	Logique propositionnelle
Cadre de discernement	Ω	Ω
Nœuds racines	Masses affectées à Ω	Masses affectées à 2^Ω
Indépendance conditionnelle	Événements	Factorisation de la masse jointe
Calcul des marginales	Théorème de Bayes et probabilités totales	Règles de combinaison de Dempster
Algorithme d'inférence	Joint Trees	Joint Trees binaires (BJT)

Réseau bayésien: Transformation de Smets de $P(a|b) = x$:

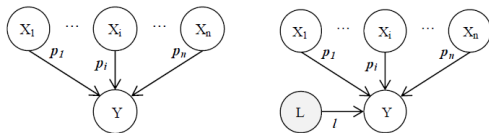
$$m(\{(a, b), (a, \bar{b}), (\bar{a}, \bar{b})\}) = x$$

$$m(\{(\bar{a}, b), (a, \bar{b}), (\bar{a}, \bar{b})\}) = 1 - x$$

Comparaison avec des modèles de fiabilité classiques

Réseaux bayésiens

- Portes Noisy-Or: Associer à chaque lien une probabilité d'inhibition p_i qui correspond à la probabilité que Y soit Vrai si X_i est Vrai (si toutes p_i sont égales à 1, la structure est une structure *OR*).
- Leaky Noisy-Or (Notion de probabilité de fuite l): Considérer un nœud supplémentaire caractérisant la présence éventuelle d'autres parents.

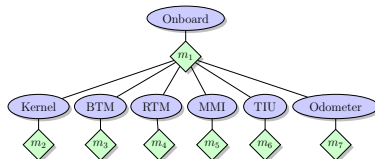


Comparaison avec des modèles de fiabilité classiques

Arbre de Défaillance dynamique (AdD)

- Aspect dynamique: Processus de défaillance dépendant du temps (prise en compte de séquences de défaillances particulière) et de l'état des composants.
- AdD (FDEP, SPARE, PAND): enrichis de portes extra-logiques.
- Porte FDEP (entrée + un ensemble d'entrées de composants dépendants): La porte FDEP n'a pas de sortie. Lorsque l'entrée est activée, les composants attachés à la porte sont désactivés.
- Porte SPARE (entrée pour un composant principal + des entrées pour les composants de secours): chaque entrée ne peut être liée qu'à une construction de type événement de base.
- Ces deux types de portes peuvent être modélisées aisément par un VBS: Intégration de l'information dans les éléments des ensembles focaux.
- Porte PAND: Occurrence de défaillance dans le cas d'une séquence d'ordre précis des événements de base: problème ouvert.

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS par les VBS (Modèle VBS du On-Board)



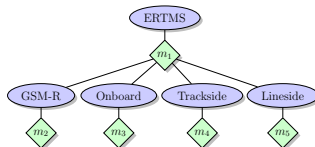
- Deux types de défaillances: Mineures (SF) et Majeures (IF).
- Cadre de discernment *Onboard*:
 $\Omega_{Onboard} = \{Failed, Degraded, Working\} = \{KO_{IF}, KO_{SF}, OK\}$.

Onboard	U	U_{IF}	U_{SF}
Kernel	$0.5 * 10^{-6}$	$0.05 * 10^{-6}$	$0.45 * 10^{-6}$
BTM	$0.5 * 10^{-8}$	$0.05 * 10^{-8}$	$0.45 * 10^{-8}$
Odometer	$0.5 * 10^{-7}$	$0.05 * 10^{-7}$	$0.45 * 10^{-7}$

- $m_2^{\Omega_{Kernel}}(\{KO_{IF}\}) = 0.05 * 10^{-6}$.
- $m_2^{\Omega_{Kernel}}(\{KO_{SF}\}) = 0.45 * 10^{-6}$.
- $m_2^{\Omega_{Kernel}}(\{OK\}) = 1 - 0.5 * 10^{-6}$.

1ère Application: Évaluation de la SdF des ERTMS par les VBS (Modèle VBS du On-Board)

Kernel	BTM	RTM	MMI	TIU	Odometer	Onboard
OK	OK	OK	OK	OK	OK	<i>Fonctionnement</i>
KO_{SF}	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	Dégradé
$\{KO_{SF}, OK\}$	KO_{SF}	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	Dégradé
$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	KO_{SF}	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	$\{KO_{SF}, OK\}$	Dégradé



État	masse
Défaillance	1.705e-07
Dégradé	1.5845e-06
Fonctionnement	0.999998245

2ème Application: Analyse de Risque pour les systèmes d'aide à la conduite

Analyse de risque

- Identification des situations dangereuses.
- Modélisation de ces situations sous formes de VBS.
- Quantification de la probabilité d'occurrence des situations dangereuses.
- Identification des maillons faibles: éléments contribuant le plus à l'occurrence des situations dangereuses.

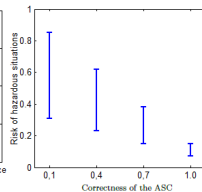
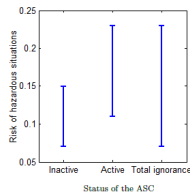
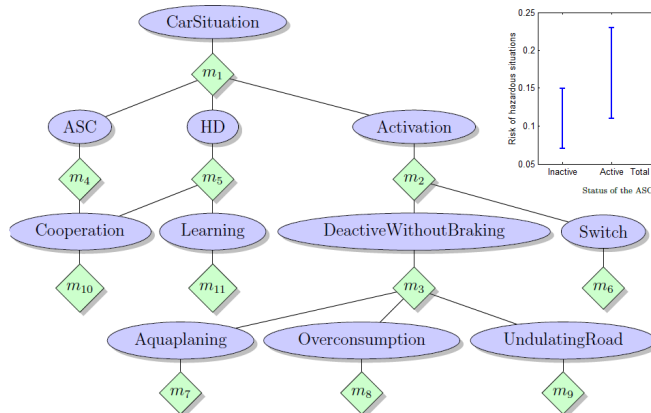
Cas d'études

- Modélisation de deux cas d'utilisation des systèmes d'aide à la conduite
 - Système de navigation.
 - Régulateur de vitesse.

Prise en compte de la coopération et de l'apprentissage.

2ème Application: Analyse de Risque pour les systèmes d'aide à la conduite

Modélisation d'une situation de risque liée à l'utilisation de l'ASC sur une chaussée glissante.



2ème Application: Analyse de Risque pour les systèmes d'aide à la conduite conclusions

- Des modèles VBS ont été développés pour les deux cas d'études des ADAS.
- Un outil logiciel pour la construction des modèles VBS a été développé.
- Des modèles de situations dangereuses liées aux ADAS sont en cours de développement.
- La validation des résultats d'analyse de risque en utilisant des simulateurs de conduite reste à faire.

Perspectives

- Application des théories de l'incertain dans différents domaines de la SdF et de l'analyse de risque.
- Répondre à la question: Quelle théorie choisir pour quel modèle et quels type de données.
- Proposition de critères de comparaison par intervalles pour la comparaison des fiabilités des architectures.
- Optimisation de la fiabilité des systèmes multi-états en présence d'incertitudes.
- Développement d'outils logiciels pour les calculs de fiabilité en présence d'incertitudes.

Merci de votre attention !

Contact: sallakmo@utc.fr

Page web: www.hds.utc.fr/~sallakmo