Méthode ensembliste de détection et isolation de défauts de capteurs: Application à la localisation indoor

Mohamed-Hédi Amri, Didier Aubry, Yasmina Becis, Nacim Ramdani

Univ. Orléans, PRISME EA 4229, F45072, Orléans

02 Avril 2015







- Project FUI 14 collectivités E-monitor'âge
- Purpose : to improve the safety of elderly people in nursing homes.



(日) (同) (三) (三)

Publications

- Mohamed-Hédi Amri, Yasmina Becis, Didier Aubry, Nacim Ramdani "Indoor Human/Robot Localization using Robust Multi-modal Data Fusion" accepted for publication in the Proceedings of 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), May 26-30, 2015, Washington State Convention Center, Seattle, Washington.
- Mohamed-Hédi Amri, Didier Aubry, Yasmina Becis, Nacim Ramdani "Robust Fault Detection and Isolation applied to Indoor Localization" accepted for publication in the Proceedings of the 9th IFAC Symposium on Fault Detection, Supervision and Safety of Technical Processes (SafeProcess), September 2-4, 2015, Paris, France.

-

Table of contents

- 1 Fault detection and isolation
- 2 Set-membership framework
- Interval based fault detection and isolation
- 4 FDI applied to indoor localization
- 5 Experimental results
- 6 Conclusion and future work

< ∃ >

Set-membership framework Interval based fault detection and isolation FDI applied to indoor localization Experimental results Conclusion and future work

Key notions Consistency check

Table of contents

- Fault detection and isolation
 - Key notions
 - Consistency check
- 2 Set-membership framework
- Interval based fault detection and isolation
- 4 FDI applied to indoor localization
- 5 Experimental results

Set-membership framework Interval based fault detection and isolation FDI applied to indoor localization Experimental results Conclusion and future work

Key notions Consistency check

Key notions

- Residual generation [PM. Frank and X. Ding, 1996]
- Redundancy :
 - Hardware redundancy [V. Venkatasubramanian et al., 2003]
 - Analytical redundancy [J. Gertler, 1991]

(日) (四) (日) (日) (日)

Set-membership framework Interval based fault detection and isolation FDI applied to indoor localization Experimental results Conclusion and future work

Key notions Consistency check

Consistency check

- Active approach :
 - Unknown input observers [J. Chen and RJ. Patton, 1996]
 - Parity equation [S. Ploix and O. Adrot, 2006]
 - H_{∞} [D. Henry, 2008]
 - Genetic algorithm [B. Samanta, 2003], etc.
- Passive approach

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

Set-membership framework Interval based fault detection and isolation FDI applied to indoor localization Experimental results Conclusion and future work

Key notions Consistency check

Set-membership methods

- Unknown but bounded error paradigm
- Feasible set :
 - Polytope [Blesa, 2010]
 - Ellipsoidal [A. Lesecq et al., 2003]
 - Parallelotope [A. Ingimundarson et al., 2005]
 - Orthotope [J. Watkins and S.Yurkovich, 1996]
 - Zonotope [S. Raka and C. Combastel, 2010]
 - Interval box [B. Marx et al. 2010]

・何ト くまと くまと

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Table of contents

Fault detection and isolation

2 Set-membership framework

- Problem formulation
- Set-membership estimator
- Consistency test
- Relaxed set intersection

Interval based fault detection and isolation

4 FDI applied to indoor localization

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Problem formulation

System model :

$$\begin{cases} x_{k+1} = f(x_k) + w_k \\ y_{k+1} = h(x_{k+1}) + v_{k+1} \end{cases}$$
(1)

э.

 $x_k \in \mathbb{R}^n \ (x_0 \in X_0)$ et $y_{k+1} \in Y_k \subset \mathbb{R}^m$: state and measurement vectors,

 $\rightarrow f(.)$ et h(.) : nonlinear functions, $\rightarrow w_k \in W_k \subset \mathbb{R}^n$ and $v_k \in V_k \subset \mathbb{R}^m$, $\rightarrow (X_0, W_k)$ and (Y_k, V_k) : bounded sets.

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Set-membership estimator

Prediction

$$[X_k^+] = f([X_{k-1}]) + W_k$$
(2)

Correction

$$[X_k^-] = h^{-1}([Y_k])$$
(3)

(ロ) (四) (三) (三)

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

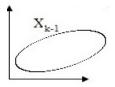
Prediction phase

• Prediction phase :

$$[X_k^+] = f([X_{k-1}]) + W_k$$
(4)

.⊐ ►

∃ ► < ∃ ►</p>



Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

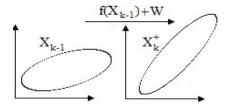
Prediction phase

• Propagation phase :

$$[X_k^+] = f([X_{k-1}]) + W_k$$
(5)

.≂ ►

∃ → (∃ →

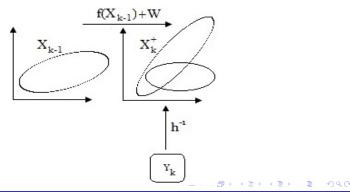


Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Correction phase

• Correction phase :

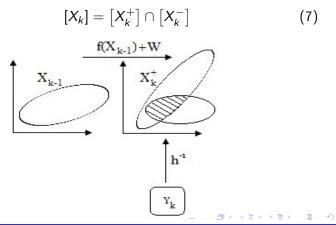
$$[X_k^-] = h^{-1}([Y_k])$$
(6)



Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Correction phase

• Feasible set :



Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

(日) (四) (日) (日) (日)

3

Consistency test

- Empty intersection
- Inappropriate choice of :
 - System model
 - Initial set
 - Bounds for noise sets
 - Faulty measurements

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

Relaxed set intersection

• **Proposed method** : *q*-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009][V. Drevelle et P. Bonnifait, 2010]

• Notation :
$$X^{\{q\}} = \bigcap^{\{q\}} X_i$$

- Principle :
 - Tolerating a given number q of outliers out of m measurements

(日) (四) (日) (日) (日)

• Solution set : the set compatible with m - q measurements.

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

イロト イポト イヨト イヨト

3

q-relaxed intersection

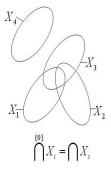


Figure: q-relaxed intersection

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

イロト イポト イヨト イヨト

э

q-relaxed intersection

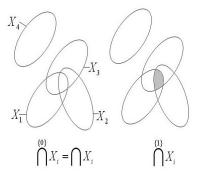


Figure: q-relaxed intersection

Problem formulation Set-membership estimator Consistency test Relaxed set intersection

イロト イポト イヨト イヨト

3

q-relaxed intersection

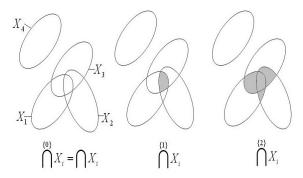


Figure: q-relaxed intersection

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

Table of contents

- Fault detection and isolation
- 2 Set-membership framework

Interval based fault detection and isolation

- Interval analysis
- Computing the *q*-relaxed intersection
- Fault detection and identification

④ FDI applied to indoor localization

5 Experimental results

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э

イロト イポト イヨト イヨト

Interval analysis

• Real interval [x] :

$$[x] = [\underline{x}, \overline{x}] = \{x \in R \setminus \underline{x} \le x \le \overline{x}\}$$

• A box :

$$[x] = [x_1] \times \ldots \times [x_n] = [\underline{x}_1, \overline{x}_1] \times \ldots \times [\underline{x}_n, \overline{x}_n]$$

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

・ロト ・四ト ・ヨト ・ヨト

э.

Interval analysis

- Extension of classical operations of real arithmetic to intervals
- Soit [x] et [y] and $\circ \in \{+, -, \times, /\}$

$$[x] \circ [y] = [\inf \left(\{x \circ y \setminus x \in [x], y \in [y]\} \right), \\ \sup \left(\{x \circ y \setminus x \in [x], y \in [y]\} \right)]$$

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

イロト イポト イヨト イヨト

э.

Interval analysis : Examples

•
$$[-2,5] + [3,4] = [1,9]$$

• $[-2,5] \times [3,4] = [-8,20]$
• $[-2,5] / [3,4] = [-\frac{2}{3},\frac{5}{3}]$

Interval analysis **Computing the** *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Computing the *q*-relaxed intersection

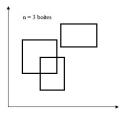


Figure: Computing the *q*-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Computing the *q*-relaxed intersection

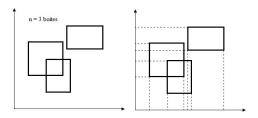


Figure: Computing the q-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Computing the *q*-relaxed intersection

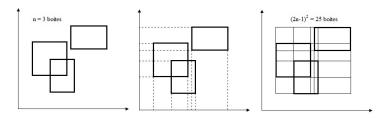


Figure: Computing the q-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q***-relaxed intersection** Fault detection and identification

э.

Computing the *q*-relaxed intersection

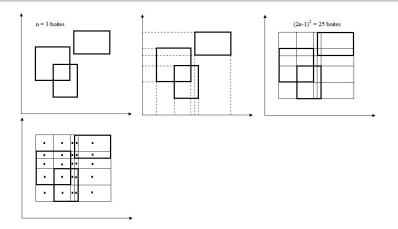


Figure: Computing the q-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q***-relaxed intersection** Fault detection and identification

э.

Computing the *q*-relaxed intersection

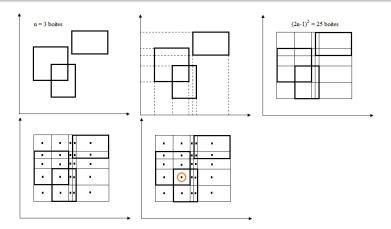


Figure: Computing the *q*-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q***-relaxed intersection** Fault detection and identification

э

Computing the *q*-relaxed intersection

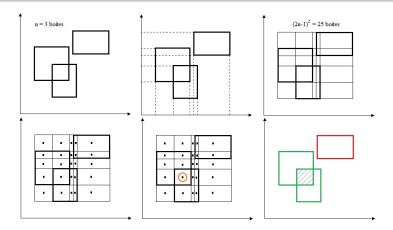


Figure: Computing the *q*-relaxed intersection [L. Jaulin, 2009]

Interval analysis **Computing the** *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

3

Possible situations

- No outlier
- Outlier detected and identified
- Outlier detected but not identified

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

イロト イポト イヨト イヨト

э

No outlier

•
$$q = 0 \rightarrow \bigcap_{i=1,3}^{\{q\}} m_i \neq 0$$

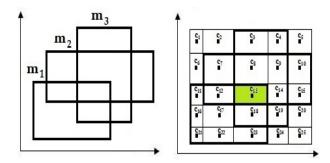


Figure: No outlier

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

(ロ) (四) (三) (三)

2

No outlier

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_4	0	0	1	1
C7	0	1	0	1
C8	0	1	1	2
c_{11}	1	0	0	1
c ₁₂	1	1	0	2
c_{13}	1	1	1	3
C18	1	0	1	2
C25	0	0	0	0

Figure: No outlier

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

・ロト ・ 日 ・ ・ ヨ ・ ・ ヨ ・

3

No outlier

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_4	0	0	1	1
C7	0	1	0	1
C8	0	1	1	2
c_{11}	1	0	0	1
C12	1	1	0	2
c_{13}		1	1	3
C18	1	0	1	2
C25	0	0	0	0

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	[s]	
c13	1	1	1	1	
Result	1	1	1	1	
No outliers					

Figure: No outlier

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

Outlier detection and identification

•
$$q = 0 \rightarrow \bigcap_{i=1,3}^{\{q\}} m_i = \emptyset \Rightarrow q = 1 \rightarrow \bigcap_{i=1,3}^{\{q\}} m_i \neq \emptyset$$

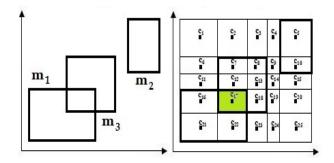


Figure: Outlier detection and identification

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Outlier detection and identification

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_5	0	1	0	1
C7	0	0	1	1
c_{16}	1	0	0	1
c_{17}	1	0	1	2
c_{25}	0	0	0	0

Figure: Outlier detection and identification

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Outlier detection and identification

Measurement Center	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_5	0	1	0	1
C7	0	0	1	1
c_{16}	1	0	0	1
C17	1	0	1	2
c_{25}	0	0	0	0

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	[s]	
C17	1	0	1	0	
Result	1	0	1	0	
		Outlier		Detection	
Detection and identification					

Figure: Outlier detection and identification

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э

Outlier non identification

•
$$q = 0
ightarrow igcap_{i=1,3}^{\{q\}} m_i = \emptyset \ \Rightarrow q = 1
ightarrow igcap_{i=1,3}^{\{q\}} m_i \neq \emptyset$$

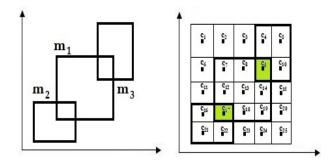


Figure: Outlier non identification

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

・ロト ・四ト ・ヨト ・ヨト

э.

Outlier non identification

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_4	0	0	0	1
C7	1	0	0	1
<i>C</i> 9	1	0	1	2
c_{16}	0	1	0	1
C17	1	1	0	2
c_{25}	0	0	0	0

Figure: Outlier non identification

Interval analysis Computing the *q*-relaxed intersection Fault detection and identification

э.

Outlier non identification

Measurement Center	[m1]	[m2]	[m3]	Sum
c_1	0	0	0	0
c_4	0	0	0	1
C7	1	0	0	1
C9	1	0	1	2
c_{16}	0	1	0	1
C17	1	1	0	2
c_{25}	0	0	0	0

Measurement	[m1]	[m2]	[m3]	[s]
<i>C</i> 9	1	0	1	0
C17	1	1	0	0
Result	1	1	1	0
				Detection
Outlier non identification				

Figure: Outlier non identification

Conclusion and future work

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

・ 同 ト ・ ヨ ト ・ ヨ ト

Table of contents

- Fault detection and isolation
- 2 Set-membership framework
- Interval based fault detection and isolation
- 4 FDI applied to indoor localization
 - Mobility model
 - Observation model
 - Proposed algorithm using interval analysis

Experimental results Conclusion and future work

Mobility model

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

3

- Random Walk model [T. Camp 2002], [F. Mourad et al., 2012]
- Minimum assumptions

Conclusion and future work

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

イロト イポト イヨト イヨト

э

Mobility model

• Formulation :

$$(x(t) - x(t-1))^2 + (y(t) - y(t-1))^2 = (\Delta t.v_{\max})^2$$

or :

$$\begin{cases} x(t) = x(t-1) + \Delta t.v.\cos(\theta) \\ y(t) = y(t-1) + \Delta t.v.\sin(\theta) \end{cases}$$

• $\theta \in [0, 2\pi], v \in [0, v_{max}].$

Experimental results Conclusion and future work Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

3

Observation model

- Zones representing the coverage detection of infrared sensors
- Naturally described in an error bounded framework

Conclusion and future work

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

3

Propagation phase

• Computing the predicted set using the mobility model :

$$\begin{cases} [x](t) = [x](t-1) + [-\Delta t.v_{\max}, +\Delta t.v_{\max}] \\ [y](t) = [y](t-1) + [-\Delta t.v_{\max}, +\Delta t.v_{\max}] \end{cases}$$

Experimental results Conclusion and future work Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < □ > <

э

Propagation phase

[p](t-1)

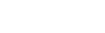


Figure: Propagation phase

Experimental results Conclusion and future work Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

э

Propagation phase

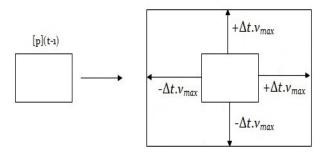


Figure: Propagation phase

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

イロト イポト イヨト イヨト

3

Correction phase

• The predicted set is refined using the *q*-relaxed intersection with measurements :

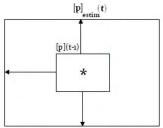


Figure: Correction phase

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

э.

Correction phase

• The predicted set is refined using the *q*-relaxed intersection with measurements :

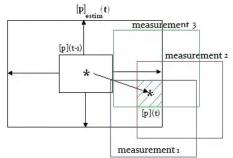


Figure: Correction phase

Mobility model Observation model Proposed algorithm using interval analysis

э

Cas particuliers

 \bullet Absence of infrared sensors measurements \Rightarrow No movement detected

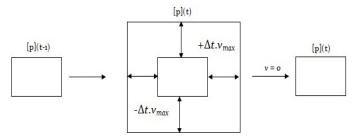


Figure: No movement detected

Experimental results Conclusion and future work

Table of contents

Fault detection and isolation

- 2 Set-membership framework
- Interval based fault detection and isolation
- 4 FDI applied to indoor localization

5 Experimental results

- Hardware configuration
- Results

Hardware configuration Results

A =
 A =
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A

Experimental results Conclusion and future work Hardware configuration Results

イロト イポト イヨト イヨト

The Living Lab



Figure: The Living Lab : GIS Madonnah at Bourges (France)

Experimental results

Conclusion and future work

Zoning of the area

2 m ۲ Bathroom 13.8 m² Transportation system Bedroom 18.2 m² ((+ _____ mmm Hall $8.5 \,\mathrm{m}^2$ (A) 1.5 m 1m PIR sensor zone boundary

Hardware configuration

Figure: Zonage de l'espace

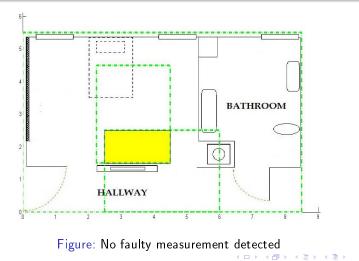
(日) (國) (필) (필) (필)

53 / 58

Experimental results

Conclusion and future work

Results



Results

54 / 58

ъ.

Experimental results

Conclusion and future work

Hardware configuration Results

Results

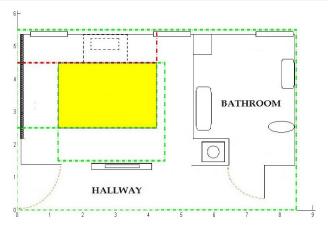


Figure: One outlier is detected and identified

・ロト ・四ト ・ヨト ・ヨト

ъ.

55 / 58

Experimental results Conclusion and future work Hardware configuration Results

Results

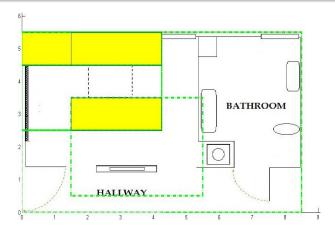


Figure: One outlier is detected but cannot be identified

イロト イヨト イヨト イヨト

2

56 / 58

Table of contents

- Fault detection and isolation
- 2 Set-membership framework
- Interval based fault detection and isolation
- 4 FDI applied to indoor localization
- 5 Experimental results
- 6 Conclusion and future work

A B A B A
 A
 B
 A
 A
 B
 A
 A
 B
 A
 A
 B
 A
 A
 B
 A
 A
 B
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A

Conclusion and future work

- Multimodal fusion
- Bounded error and probabilistic uncertainties.



< ロ > < 同 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < 回 > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ > < □ >

3