

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DU 20 AOÛT 1955 SKIKDA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS ET PÉTROCHIMIE



Ref : D012121006D

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat LMD

Filière : Hygiène et sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité industrielle, environnement et maîtrise des risques

Thème

**Systeme contrôle-commande intelligent et
maîtrise des risques : Application à la commande d'un
système complexe**

Présentée par :

BENSACI Chaima

Soutenue publiquement le xx-xx-2021, devant le jury composé de :

Président :	Mohamed Salah MEDJRAM	Professeur	Université de Skikda
Encadrant :	Youcef ZENNIR	Professeur	Université de Skikda
Co-encadrant :	Denis POMORSKI	Professeur	Université de Lille
Examineur :	Hamid BENTARZI	Professeur	IGEE- Bumerdes
Examineur :	Azzedine BOUZAOUIT	Professeur	Université de Skikda
Examineur :	Mounira ROUAINIA	Professeure	Université de Skikda
Examineur :	Lilia ZIGHED	Professeure	Université de Skikda
Invité :	Fares INNAL	Professeur	Université de Skikda

Année 2020-2021

الملخص

مع ظهور التقنيات الحديثة ، شهدنا تطور العديد من الأنظمة المعقدة القادرة على التصرف والتفاعل وحتى اتخاذ القرار بشكل مستقل ، نذكر منها على سبيل المثال الأنظمة الروبوتية. تحتل هذه الأنظمة مكانة مهمة في العديد من التطبيقات، بما في ذلك التطبيقات الصناعية. في الوقت الحالي ، تتعرض المناطق الصناعية إلى غزو بشكل متزايد من قبل عدد كبير من الروبوتات المتنقلة، القادرة على أداء المهام المعقدة من خلال التعاون فيما بينها. ومع ذلك ، فإن إدماج هذه الأنظمة في بيئات العمل مع تفاعلات قوية بين الروبوتات كذلك بين الروبوتات و العاملين يشكل نوعا من التعقيد في التحكم والتنسيق، مما يجعل إدارته أكثر صعوبة في بيئة ديناميكية وعالية المخاطر. لذلك أصبحت الحاجة إلى تطوير منهجيات جديدة لتحليل المخاطر والرقابة أمرا مطلوبا.

تركز هذه الأطروحة على دراسة هذا النوع من التعقيد في إطار تطبيقي لمختبر تحاليل، من بين أهم خصوصياته، أن يتم تجهيزه بعدد كبير من الروبوتات المتنقلة ذات العجلات المستقلة، المكلفة بنقل العديد من الأشياء بما فيها المنتجات الخطيرة (المتفجرة، المسببة للتآكل....)، و المتفاعلة بقوة مع البشر. على وجه الخصوص ، يتم معالجة موضوع السلامة والأمن من خلال تحليل المخاطر باستخدام بنى تنسيق متنوعة (مركزية، هرمية و هرمية معدلة) للروبوتات ، مما يسمح بتنقلها ، مع الحرص على تحسين تحكمها.

أولاً ، نقتراح منهجية لتحديد وتقييم سيناريوهات المخاطر المحتملة للمختبر ، بهدف تقليلها والسيطرة عليها. تعتمد المنهجية المقترحة على أربع تركيبات من خمس طرق أساسية لتحليل المخاطر تهدف إلى توفير تحليل مفصل لنظام صناعي معقد: تحليل أنماط الفشل وتأثيراتها و درجة خطورتها FMECA ، تحليل أشجار الأعطال FTA ، طريقة تحليل المخاطر STPA ، طريقة ربطة العنق Bowtie ، وكذلك طريقة شبكات بيتري.

أدى تطبيق هذه النهج على مختبرنا الآلي إلى الحصول على مجموعة من متطلبات السلامة والتوصيات الخاصة بالتنقل والتحكم في الروبوتات المتنقلة ، مما يسمح بالحفاظ على سلامة وأمن المؤسسة بأكملها.

أخيراً ، شرعنا في تطوير بنية التحكم في الروبوتات ، بناءً على خوارزميات تحسين عالية المستوى PSO ، المشتقة من الذكاء الاصطناعي. باحترام متطلبات السلامة والأمن لنظامنا ، من جهة ، حافظنا على استقراره ، ومن جهة أخرى ، قمنا بضمان تنقل أكثر دقة للروبوتات المتنقلة.

الكلمات المفتاحية : تحليل المخاطر ، مراقبة السلامة ، معمل التحليل الكيميائي ، نظام الروبوتات المتعددة ، نظام التحكم / القيادة ، بنيات التحكم ، تحسين أسراب الجسيمات.

Résumé

Avec l'essor des technologies modernes, nous assistons au développement de nombreux systèmes complexes capables d'agir, de réagir, voire de décider de manière autonome, tels les systèmes robotiques. Ces systèmes prennent une place importante dans beaucoup d'applications, y compris les applications industrielles. Actuellement, des zones industrielles sont de plus en plus envahies par des flottes de robots mobiles, capables d'effectuer des tâches complexes en collaborant et en coopérant ensemble. Néanmoins, l'intégration de tels systèmes dans des environnements d'interventions avec une forte interaction robot-robot et robot-humain présente une certaine complexité de contrôle et de coordination, qui devient plus difficile à gérer dans un environnement dynamique et à haut risque. C'est pourquoi le besoin de développer de nouvelles méthodologies d'analyse et de maîtrise de risques est devenu plus exigeant.

Cette thèse est consacrée à l'étude de cette complexité dans le cadre applicatif d'un laboratoire d'analyses dont l'une des particularités est d'être équipé d'une flotte de robots mobiles à roues autonomes, transportant entre autres des produits à risques (explosifs, corrosifs...), et en interaction forte avec l'humain. En particulier, la sûreté et la sécurité sont traitées à travers une analyse des risques en considérant diverses architectures de coordination (centralisée, hiérarchique et hiérarchique modifiée) des robots, permettant leur navigation, tout en gardant un œil sur l'amélioration de leur contrôle.

Dans un premier temps, nous proposons une méthodologie permettant d'identifier et d'évaluer les scénarios de risques potentiels du laboratoire, dans l'objectif de les minimiser et de les maîtriser. La méthodologie proposée est basée sur quatre combinaisons de cinq méthodes principales d'analyse des risques visant à fournir une analyse détaillée d'un système industriel complexe : l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité AMDEC, l'analyse des arbres de défaillances ADD, la méthode d'analyse des dangers STPA, la méthode du nœud papillon, ainsi que la méthode utilisant les réseaux de Petri.

L'application de ces approches à notre laboratoire robotisé a fait émerger des exigences de sécurité et des recommandations concernant la navigation et le contrôle des robots mobiles, permettant de préserver la sûreté et la sécurité de l'ensemble de l'établissement.

Enfin, nous nous sommes attachés à développer une architecture de contrôle des robots, basée sur des algorithmes méta-heuristiques d'optimisation PSO, issus de l'intelligence artificielle. Les exigences de sûreté et de sécurité de notre système étant respectées, nous en avons d'une part préservé la stabilité, et avons d'autre part assuré une navigation plus précise des robots mobiles.

***Mots-clés :** Analyse des risques, Maitrise de la sécurité, Laboratoire d'analyses chimique, Système multi-robots mobiles, Système de contrôle / commande, Architectures de contrôle, Optimisation de l'essaim de particules.*

Abstract

With the advent of new technologies, we are witnessing the development of many complex systems capable of acting, reacting and even deciding autonomously such as robotic systems. These systems occupy a prominent place in many applications, including industrial applications. Today, industrial areas are increasingly invaded by fleets of mobile robots, capable of performing complex tasks by collaborating and cooperating together. However, the integration of such systems in intervention environments with strong robot-robot and robot-human interaction presents a certain complexity of control and coordination, which becomes more difficult to manage in a dynamic and high-risk environment. Thus the need to develop new risk analysis and control methodologies has become more demanding.

This thesis is devoted to the study of this complexity within the application framework of an analysis laboratory which one of its particularities is being equipped with a fleet of autonomous wheeled mobile robots, transporting, among other things, risk products (explosives, corrosives, etc.), and in strong interaction with humans. In particular, safety and security are addressed through a risk analysis by considering various coordination architectures (centralized, hierarchical and modified hierarchical) for robots, allowing their navigation, while keeping an eye towards improving their control.

We initially propose a methodology to identify and assess the laboratory's potential risk scenarios, with the aim of minimizing and controlling them. The proposed methodology is based on four combinations of five main risk analysis methods aimed at providing a detailed analysis of a complex industrial system: Failure modes, Effects and Criticality Analysis FMECA, Fault Tree Analysis FTA, STPA Hazard Analysis Method, the Bow Tie method, as well as the Petri nets method.

The application of these approaches to our robotic laboratory has given rise to safety requirements and recommendations regarding the navigation and control of mobile robots, to maintain the safety and security of the entire establishment.

Finally, we have focused to develop a control architecture for robots, based on meta-heuristic optimization algorithms PSO, derived from artificial intelligence. While respecting the safety and security requirements of our system; we have on the one hand preserved its stability, and on the other hand we have ensured a more precise navigation of the mobile robots.

Keywords: *Risk analysis, Safety control, Chemical analysis laboratory, Mobile multi-robot system, Control/Command system, Control architectures, Optimization of particle swarms.*