

MADRAS

Multi-Agent modelling of dense crowd dynamics: Predict & Understand

Multi-Agent-Modellierung der Dynamik von dichten Fußgängermengen: Vorhersagen & Verstehen

Modélisation multi-agents de la dynamique de foules piétonnes denses: Prévoir & Comprendre

CHRAIBI Mohcine

GAUDOU Benoit

NICOLAS Alexandre

TORDEUX Antoine

Forschungszentrum Jülich

Université Toulouse 1 Capitole

Université Lyon 1

Bergische Universität Wuppertal

Project summary

Trustworthy models for the dynamics of dense crowds are crucial for the prediction of pedestrian flows and the management of large crowds, but also from a fundamental perspective, to understand the roots that they share with active matter but also the pedestrian specifics. However, current models suffer from some severe deficiencies, especially at high density. In this context, MADRAS aims to develop innovative agent-based models to predict and understand dense crowd dynamics (from 2 to 8 ped/m²) and to apply these models in a large-scale case study. Two complementary modelling approaches will be pursued:

- (i) neural networks (NN) that will be trained on available data to predict pedestrian motion as a function of their local environment and trajectory. This data-based approach is bolstered by recent successes, which proved the potential of recurrent NN at low to intermediate density, but suitable descriptors for the agent's neighbourhood and the local geometry must be found to address dense crowds in complex geometries.
- (ii) a physics-based model coupling a decisional layer, where a desired velocity is selected according to an empirically validated collision-anticipation strategy, and a mechanical layer, which takes care of collisions and contacts. To push this approach to higher densities, integrating more realistic pedestrian shapes and better splitting the decision-making process from mechanical forces is necessary.

These approaches will be confronted with novel validation methods, using data from controlled experiments. The models will then be exploited at larger scale to simulate the flows on crowded streets at a real mass gathering, the Festival of Lights in Lyon. To this end, empirical data will be collected by filming the streets from above and by immersing in the crowd participants wearing pressure-sensing jackets, to measure contacts. Emulating this real scenario will call for adequate data assimilation methods and efficient multi-agent simulations based on the two models. The latter will be combined in a single online platform, allowing one to visualise the predicted flows and compare them with the ground truth. Finally, the impact of different model ingredients and features (e.g., shape heterogeneities) on the large-scale flow predictions will be investigated by means of numerical simulations of the two models, using the Festival of Lights situation as a reference scenario.

To achieve this ambitious interdisciplinary project, four teams with different backgrounds (Computer Science, Statistical Physics, Applied Mathematics) will combine their strengths and research tools (simulation platform, continuous models, datasets, experimental analysis tools). Cooperation will be fostered by the common goal to reproduce a large-scale scenario and by extensive (3-month) research stays at another institute for the involved PhD students.

Zusammenfassung

Wirklichkeitsgetreue Modelle für die Dynamik von dichten Fußgängermengen sind entscheidend für die Vorhersage von Fußgängerströmen und das Management großer Mengen, aber auch aus einer fundamentalen Perspektive, um die Gemeinsamkeiten die zwischen Fußgängern und aktiver Materie aber auch die Besonderheiten von Fußgängern zu verstehen. Die derzeitigen Modelle weisen jedoch einige gravierende Mängel auf, insbesondere bei hoher Dichte. In diesem Zusammenhang zielt MADRAS darauf ab, innovative agentenbasierte Modelle zu entwickeln, um die Dynamik von dichten Menschenmengen (von 2 bis 8 Fußgängern/m²) vorherzusagen und zu verstehen und dann diese Modelle in einer groß angelegten Fallstudie anzuwenden. Es werden zwei sich ergänzende Modellierungsansätze unternommen:

- (i) Neuronale Netze (NN) werden mit schon verfügbaren Daten trainiert werden, um die Bewegung von Fußgängern entsprechend ihrer lokalen Umgebung und ihrer Flugbahn vorherzusagen. Diese datenbasierte Annäherung wird durch jüngste Erfolge unterstützt, die das Potenzial von "Recurrent NN" bei geringer bis mittlerer Dichte bewiesen haben, aber es müssen geeignete Deskriptoren für die Nachbarschaft des Agenten und die lokale Geometrie gefunden werden, um dichte Menschenmassen in komplexen Geometrien anzusprechen.

- (ii) ein physikbasiertes Modell wird eine Entscheidungsschicht, in der eine gewünschte Geschwindigkeit gemäß einer empirisch validierten Kollisionsantizipationsstrategie ausgewählt wird, mit einer mechanischen Schicht, die sich um Kollisionen und Kontakte kümmert, koppeln. Um diesen Ansatz zu höheren Dichten zu bringen, ist es notwendig, realistischere Fußgängerformen zu integrieren und den Entscheidungsprozess besser von mechanischen Kräften zu trennen.

Diese Ansätze werden mit neuartigen, schon verfügbaren Daten aus kontrollierten Experimenten basierten Validierungsmethoden konfrontiert werden. Die Modelle werden dann auf größerer Skala verwendet, um die Strömungen auf überfüllten Straßen bei einer Massenveranstaltung, der Fête des Lumières in Lyon, zu simulieren. Zu diesem Zweck werden empirische Daten gesammelt, indem die Straßen von oben gefilmt und einige Teilnehmer mit drucksensitiven Jacken in die Menschenmenge eingetaucht werden, um die Kontakte zu messen. Die Nachbildung dieses realen Szenarios erfordert geeignete Datenassimilationsmethoden und effiziente Multiagentensimulationen auf der Grundlage der beiden Modelle. Letztere werden in einer einzigen Online-Plattform kombiniert, die es erlaubt, die vorhergesagten Ströme zu visualisieren und mit der Grundwahrheit zu vergleichen. Schließlich wird der Einfluss verschiedener Modellbestandteile und -merkmale (z.B. Formheterogenitäten) auf die großräumigen Strömungsvorhersagen mit Hilfe numerischer Simulationen beider Modelle untersucht, wobei die Fête des Lumières als Referenzszenario gelten wird.

Damit dieses ehrgeizige interdisziplinäre Projekt Erfolg erreicht, werden vier Teams mit unterschiedlichem Hintergrund (Informatik, Statistische Physik, Angewandte Mathematik) ihre Stärken und Forschungswerkzeuge (Simulationplattform, kontinuierliche Modelle, Datensätze, experimentelle Analysewerkzeuge) kombinieren. Die Zusammenarbeit wird durch ein gemeinsames Ziel, nämlich, ein groß angelegtes Szenario zu reproduzieren, und durch umfangreiche (3-monatige) Forschungsaufenthalte aller beteiligten Doktoranden an einem anderen Institut gefördert.

Résumé

Pour prévoir les flux piétonniers et gérer de vastes foules, mais aussi, plus fondamentalement, pour comprendre les dénominateurs communs entre piétons et matière active et les spécificités des premiers, une modélisation fiable de la dynamique de foules denses est requise. Or, les modèles actuels souffrent de certaines failles aiguës, notamment à haute densité. Dans ce contexte, MADRAS aspire à développer des modèles innovants à base d'agents pour prédire et comprendre la dynamique des foules denses (de 2 à 8 piétons/m²) et à appliquer ces modèles dans une étude de cas de grande envergure. Deux approches complémentaires de modélisation seront entreprises:

- (i) des réseaux de neurones (RN) seront entraînés sur des données déjà disponibles pour prédire le mouvement des piétons en fonction de leur environnement local et de leur trajectoire. Cette approche basée sur les données est confortée par des succès récents, qui ont montré le potentiel des RN récurrents à densités faibles à intermédiaires; il s'agira de trouver des descripteurs appropriés pour le voisinage de l'agent et la géométrie locale pour permettre l'étude de foules denses dans des géométries complexes.
- (ii) un modèle basé sur la physique couplera une couche décisionnelle, où une vitesse souhaitée est sélectionnée selon une stratégie d'anticipation des collisions qui a été validée empiriquement, et une couche mécanique, qui prend en charge les collisions et les contacts. Pour porter cette approche à des densités plus élevées, il est nécessaire d'intégrer des formes de piétons plus réalistes et de mieux séparer le processus de décision des forces mécaniques.

Ces approches seront confrontées à de nouvelles méthodes de validation, utilisant des données issues d'expériences contrôlées. Les modèles seront ensuite exploités à plus grande échelle pour simuler les flux piétons dans les rues bondées lors de la Fête des Lumières, à Lyon. À cette fin, des données empiriques seront collectées en filmant de haut des portions de rues et en immergeant dans la foule des participants portant des gilets avec des capteurs de forces, pour mesurer les contacts physiques. La reproduction numérique de ce scénario réel demandera des méthodes d'assimilation de données appropriées et des simulations multi-agents efficaces à partir des deux modèles. Ces derniers seront combinés sur une même plateforme en ligne, permettant de visualiser les prédictions de flux et de les comparer avec la réalité du terrain. Enfin, l'impact des différents ingrédients et des caractéristiques des modèles (par exemple, l'hétérogénéité des morphologies) sur la dynamique de foule observée à grande échelle sera étudié au moyen de simulations numériques des deux modèles, en utilisant comme scénario de référence le cas de la Fête des Lumières.

Pour mener à bien cet ambitieux projet interdisciplinaire, quatre équipes de formations différentes (informatique, physique statistique, mathématiques appliquées) combineront leurs forces et leurs outils de recherche (plateforme de simulation, modèles continus, jeux de données, outils d'analyse expérimentale). La coopération sera favorisée par l'existence d'un objectif ultime commun, reproduire un scénario à grande échelle, et par des séjours de recherche prolongés (3 mois) dans un autre institut pour tous les doctorants impliqués.