

PORTFOLIO:

„Inteligentne budynki” - wykorzystanie symulacji sterowanych danymi do analizy i krótkoterminowej predykcji zachowań pieszych.

Autorzy: Jarosław Wąs, Jakub Porzycki

Centrum Inteligentnych Systemów Informatycznych Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
budynek C-2 pokój 426 tel.: 12 617 44 53 www.isi.agh.edu.pl isi@agh.edu.pl

Inteligentne budynki - wykorzystanie symulacji sterowanych danymi do analizy i krótkoterminowej predykcji zachowań pieszych.

Jakub Porzycki, Jarosław Wąs, Robert Lubaś, Marcin Mycek

AGH University of Science and Technology
Institute of Applied Computer Science
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland
porzycki,jarek,rlubas, mycek@agh.edu.pl

1 Wprowadzenie

Nieustanny rozwój technologii spowodował, że prawie wszystkie nowoczesne budynki, najczęściej biurowe i usługowe, są w pełni zautomatyzowane i centralnie zarządzane. Oświetlenie, dostęp do pomieszczeń i drzwi awaryjnych, systemy audio-wizyjne, windy, ogrzewanie - wszystkie te aspekty zarządzania infrastrukturą mogą być połączone razem. Daje to sposobność do zwiększenia na niepotykaną na wcześniejszą skalę komfortu i bezpieczeństwa użytkownika takich budynków.

Wyzwanie stanowią wydajne mechanizmy kontroli takim układem. Większość podukładów w takim systemie ma duże opóźnienie np. na efekty włączenia ogrzewania trzeba czekać od paru minut do paru godzin, zależnie od budynku. Z tego powodu ważne jest analizowanie historycznych danych oraz przewidywanie sytuacji na podstawie dostępnych informacji. Powszechnie stosowana jest pierwsza metoda, jednak bazowanie jedynie na historii nie pozwala na dużą responsywność systemu oraz powoduje jego złe funkcjonowanie w przypadku sytuacji nietypowej. Drugie podejście jest znacząco trudniejsze, ale pozwala na reagowanie na sytuację w precyzyjnie dopasowany sposób. Brakuje jednak na obecną chwilę systemów, które realizują tą funkcjonalność.

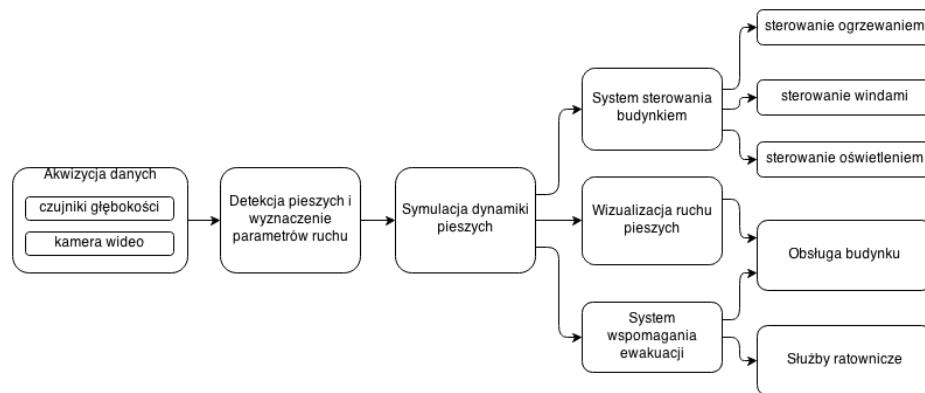
2 Inteligentne budynki czyli o wykorzystaniu symulacji sterowanych danymi

2.1 Symulacje sterowane danymi (SSD)

Symulacje sterowane danymi (*SSD*) są koncepcją łączącą klasyczne symulacje komputerowe z analizą danych rzeczywistych. W kontekście dynamiki pieszych łączą one modele symulacji dynamiki tłumów z metodami wyznaczania parametrów ruchu pieszych.

Wyniki symulacji zawsze w znaczący sposób, zależą od stanu początkowego. Dla tego tak istotne jest używanie rzeczywistych informacji jako danych wejściowych. Im dłużej trwa symulacja tym warunki początkowe mają większe znaczenie. Im większa niepewność wyznaczenia początkowych położenia, parametrów,

celów do osiągnięcia przez pieszych etc., tym większa niepewność otrzymanych wyników w symulacji. *SSD* przeciwdziała tej sytuacji wykorzystując nie tylko jako stan początkowy estymację rzeczywistej sytuacji, ale również na bieżąco uwzględniając nowe pomiary w celu poprawy wyników. W ten sposób jeśli choć częściowe dane mogą być dostarczane do symulacji, przez dowolnie długi okres czasu będzie ona aktualna i możliwie dokładna w swoich przewidywaniach dostosowując się do zmieniających się warunków, zapewniając najdłuższą możliwą i aktualną prognozę sytuacji w systemie.



Rysunek 1. Przykładowy schemat przepływu danych w prezentowanym systemie. Informacje z czujników przekazywane są do modułu wykrywającego pieszych, informacje o pozycji i parametrach ruchu pieszych używane są jako dane wejściowe do symulacji, które potem są przekazywane do: systemu zarządzania budynkiem oraz do obsługi budynku za pomocą modułu odpowiadającego za wizualizację. Po wykryciu zagrożenia uruchamiany jest system wspomaganie ewakuacji, który dostępny jest dla obsługi budynku oraz służb ratowniczych.

2.2 Wzrost funkcjonalności obiektu przy wykorzystaniu SSD

Jak wspomniano we wstępie zagadnienie centralnego i zaplanowanego sterowania dużymi obiektami jest trudne i często nierealizowalne ze względu na potencjalnie zmieniające się warunki. Nawet dla najprostszych kompleksów jak np. biuro nieplanowane zebranie znacząco zaburza typowy cykl dzienny i zmienia rozkład osób w obiekcie.

Jednym z aspektów, który często wprowadza dyskomfort u użytkowników obiektów i/lub generuje duże koszty jest oświetlenie. Duża część wykorzystywanych systemów oświetleniowych charakteryzuje się długim okresem zanim lampy uzyskają pełną świetność (w szczególności np. wysokoprężne lampy sodowe). Takie urządzenia podczas pracy zużywają mało energii, ale mają długi czas załączania i ich częste włączanie oraz wyłączenie znacząco redukuje czas życia

zwiększając koszty utrzymania instalacji. Drugi typ oświetlenia charakteryzuje się większą responsywnością, ale również zwiększonym zużyciem energii elektrycznej. W obu przypadkach wyłączenie oświetlenia, gdy jest ono niepotrzebne przez uzasadniony ekonomicznie czas, pozwala zaoszczędzić na kosztach utrzymania obiektu. Problemem jest wykrywanie potencjalnych początków i końców takich okresów. Sytuacje gdy nie ma osób w danym rejonie łatwo jest wykryć. Jednak biorąc pod uwagę potencjalną bezwładność systemu, idea inteligentnych budynków wspomaganych *SSD* pozwoliłaby przewidywać końce takich okresów z odpowiednim wyprzedzeniem i odpowiednio na nie reagować.

Takie rozwiązanie pozwala też znacząco zwiększyć komfort użytkownika obiektu. Stosowane obecnie rozwiązania (np. fotokomórki) realizują funkcjonalność dynamicznego sterowania oświetleniem, ale często kosztem dużego dyskomfortu u użytkowników. Wyłączenia się oświetlenia podczas bezruchu, nie wykrycie osoby przez czujnik, szybka i nieprzyjemna zmiana jasności spowodowana nagłym załączeniem się oświetlenia - wszystkie te niepożądane zjawiska spowodowane są faktem, że obecnie stosowane systemy reagują jedynie na sytuację obecną. Ich zdolność przewidywania jest ściśle określona i opiera się raczej na odpowiednim ich rozmieszczeniu (np. fotokomórka włączająca światło w korytarzu umieszczona znacząco przed korytarzem).

W praktyce występuje również wiele innych zagadnień generujących duże koszty albo dyskomfort użytkownika. Ogrzewanie pomieszczeń albo chłodzenie za pomocą klimatyzacji w sposób znaczący zależy od ilości osób w pomieszczeniu i również posiada dużą bezwładność czasową. Zagadnienia sterowania i potencjalnego wykorzystania *SSD* są dokładnie analogiczne jak w przypadku sterowania oświetleniem. Znajomość stanu układu z wyprzedzeniem czasowym pozwala lepiej zarządzać takim systemem. Taką informację można też wykorzystać do mniej oczywistych zastosowań, jak na przykład ustawianie wind na piętrach gdzie spodziewamy się większej ilości osób chcących zmienić piętro lub odpowiedniego przydziału osób z obsługi hotelu czy lotniska do rejonów, gdzie w niedalekiej przyszłości będą potrzebne.

Zebrane dane mogą też zostać wykorzystane do globalnej analizy. Ponieważ *SSD* pozwala odtworzyć stan całego obiektu na podstawie częściowych pomiarów, umożliwia to przeanalizowanie, gdzie np. powinny zostać umieszczone ławki, automaty z napojami etc.

2.3 Poprawa bezpieczeństwa obiektu dzięki SSD

Drugim obszarem zastosowania koncepcji inteligentnych budynków wspomaganych *SSD* jest poprawa bezpieczeństwa użytkowanych obiektów. Drogi ewakuacyjne wyznaczane dla obiektów są zazwyczaj ściśle określone i dla przewidzianego w scenariuszach ewakuacyjnych rozmieszczenia ludzi sprawdzają się znakomicie.

Należy jednak podkreślić dwa fakty. Po pierwsze w przypadku gdy rozkład ludzi w obrębie obiektu jest znacznie inny niż zakładany - np.: w skutek zebrania wszystkich pracowników firmy albo w czasie lunchu - mogą istnieć lepsze drogi

ewakuacyjne zmniejszające całkowity czas ewakuacji z obiektu. Ponadto zaplanowane drogi mogą zawodzić jeśli nastąpi nieprzewidziane zdarzenie np.: wizyta dużej ilości osób w obiekcie przekraczającego jego maksymalną pojemność lub awaria uniemożliwiająca wykorzystanie części drogi ewakuacyjnej (np.: zawalenie się schodów czy pożar). Oba zastrzeżenia wynikają z jednej cechy - drogi ewakuacyjne są statyczne i zależne od określonych, niezmiennych założeń.

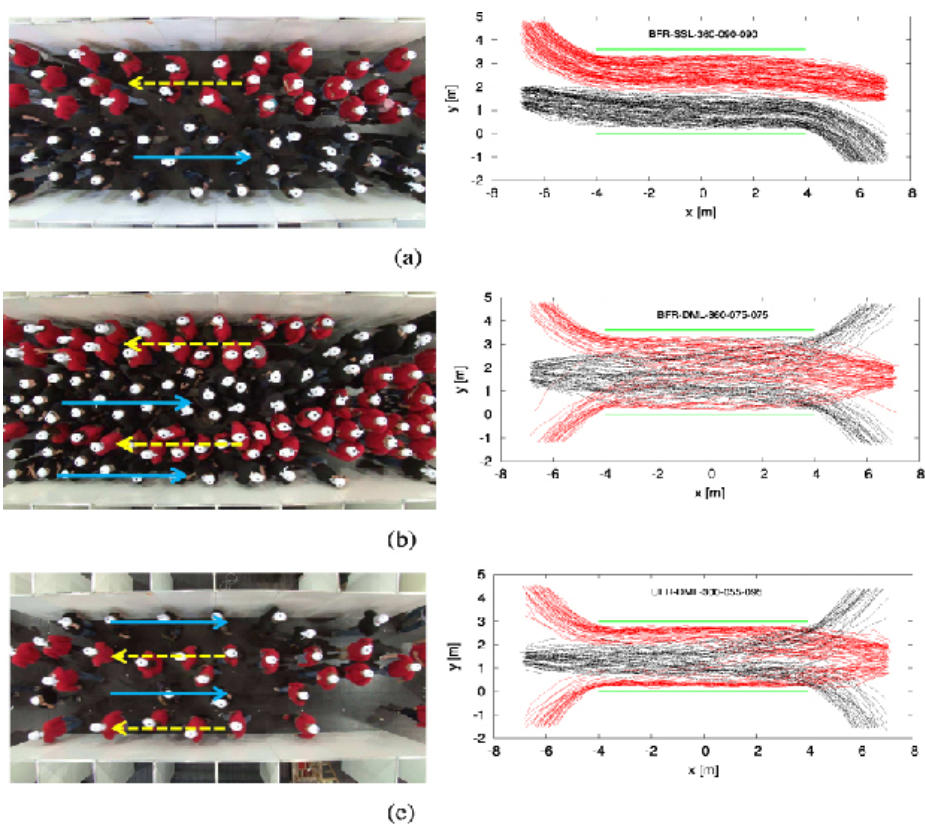
Wykorzystanie SSD pozwala reagować na nieprzewidziane sytuacje - w dynamiczny sposób dobierając drogi ewakuacyjne, reagując na zaburzenia w rozmieszczeniu osób albo nieprzewidziane sytuacje. Symulacja na bieżąco korygowana ciągłym dopływem danych pozwala też posiadać informację o pełnym stanie układu. Co więcej wykorzystanie symulacji zachowanie tłumów, pozwala wykryć część ewentualnych zagrożeń zanim one faktycznie nastąpią. Ponadto umożliwia to reakcje w przypadku wykrycia, w trakcie ewakuacji np. zatoru, oraz stanowi nieocenione wsparcie dla policji i straży pożarnej jako źródło informacji.

3 Ruch pieszych

Tłum pieszych może być realistycznie symulowany za pomocą różnych modeli dynamiki i zachowań tłumu. Do jak najwierniejszego odwzorowania rzeczywistości niezmiernie ważne jest przeprowadzenie ilościowej i jakościowej weryfikacji modelu. Walidacja ilościowa polega na konfrontacji danych liczbowych uzyskanych w wyniku symulacji z danymi empirycznymi. Podczas analizy jakościowej model sprawdzany jest pod kątem występowania zjawisk samoorganizacji. Do takich kolektywnych zjawisk zaliczamy:

- Zatlóczenie (*ang. jamming*): W sytuacji dużej gęstości w tłumie pojawiają się różnorodne zjawiska, np. duża liczba ludzi opuszcza pomieszczenie w tej samej chwili. Zjawisko tamowania jest typowe dla wąskiego gardła, gdzie przepływ ludzi jest ograniczony przez drzwi lub zwiężenia. Inne rodzaje zatlóczenia pojawiają się w przypadku ruchu pieszych w przeciwnych kierunkach - dwie grupy pieszych wzajemnie się blokują.
- Formowanie się strug (*ang. lane formation*): Gdy dwie grupy poruszają się w przeciwnych kierunkach, pojawia się efekt spontanicznego łamania symetrii. W ruchu pieszych dochodzi do samoorganizacji polegającej na formowaniu się strug w ruchu wśród ludzi poruszających się w jednym kierunku. Zjawisko to jest widoczne na rys.: 2. W ten sposób silne oddziaływanie pomiędzy pieszymi jest zredukowane i możliwe jest poruszanie się z większą prędkością.
- Oscylacje przepływu (*ang. flow oscillations*): W ruchu pieszych w obie strony w wąskim gardle można zaobserwować zmiany oscylacyjne kierunku ruchu. Kiedy jeden pieszy jest w stanie przejść przez wąskie gardło, ruch w tym samym kierunku (podążaniem za poprzednikiem) dla pozostałych pieszych staje się łatwiejszy. Kierunek przepływu zmienia się, kiedy w wyniku chwilowo mniejszego ruchu, przez wąskie gardło przejdzie pieszy poruszający się w innym kierunku.

- Panika (*ang. panic*): W sytuacji paniki, może pojawić się wiele nieintuicyjnych w interpretacji zjawisk. W fenomenie szybki jest wolny (*ang. faster-is-slower effect*)[12] wyższa pożądana prędkość pieszych prowadzi do wolniejszego ruchu w tłumie. W efekcie zamrożenie-przez-ogrzewania (*ang. freezing-by-heating effect*) [13] zwiększenie wahań może prowadzić do bardziej uporządkowanego stanu.



Rysunek 2. Naturalne zjawisko formowania się strug w tłumie przemieszczającym się w dwóch przeciwnych kierunkach.

Analizy zachowań tłumu z nagrań wideo wskazują, że oprócz ruchu chaotycznego w dynamice pieszych można doszukać się regularnych zachowań. Rezultaty badań pokazują, że regularne zachowanie odnosi się tylko do pieszych zorientowanych na konkretny cel. Nieregularne wzorce w ruchu występują na przykład u turystów i dzieci, które uczą się obierania optymalnej strategii ruchu.[14],[15].

Podsumowując zachowania tłumu można wyróżnić cztery główne obserwacje:

1. Piesi zazwyczaj obierają najkrótszą drogę do następnego celu, która ma kształt wielokąta. Jeżeli występuje alternatywna droga tej samej długości, pieszy preferuje ścieżkę po której może poruszać w linii prostej jak najdłużej i zmieniać kierunek jak najpóźniej. Pieszy woli unikać wydłużania drogi lub poruszania się w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu nawet gdy bezpośrednia ścieżka jest zatłoczona.
2. Pieszy preferuje ruch ze swoją prędkością pożądaną, jest dla niego komfortowa i zachowuje ją do momentu w którym nie będzie zmuszony przyspieszyć w celu osiągnięcia celu na czas. Badania pokazują, że prędkość pożądana w tłumie ma rozkład normalny.
3. Piesi zachowują pewien dystans do innych pieszych i przeszkód. Dystans ten zmniejsza się wraz ze wzrostem pośpiechu i gęstości w tłumie. Osoby nieporuszające się (oczekiwanie na pociąg lub posiłek w jadalni) są równomiernie rozłożone na dostępnej powierzchni. Osoby, znając siebie, mogą tworzyć grupy, które są jednostki, które zachowują się podobnie do pojedynczych przechodniów. Wielkość grup mają rozkład Poissona.
4. Piesi zazwyczaj nie odzwierciedlają swojej strategii zachowań w każdej sytuacji na nowo, ale działają mniej lub bardziej automatycznie (jak doświadczony kierowca).

4 Metody monitorowania zachowań pieszych

4.1 Kamery

Obecnie najpopularniejszym urządzeniem używanym do akwizycji danych o ruchu pieszych jest kamera wideo. W większości są to kamery należące do różnorodnych systemów monitoringu. Do niedawna jedyną powszechnie stosowaną metodą analizy takich nagrań była bezpośrednia obserwacja przez wyznaczoną do tego zadania osobę.

Od kilku lat można zaobserwować narastający trend polegający na coraz częstszym stosowaniu różnorodnych algorytmów automatycznej analizy obrazów. Okazuje się jednak, że utworzenie algorytmów dokładnie wyznaczających parametry ruchu pieszych w dowolnie wybranych warunkach nie jest zadaniem łatwym. Istnieje kilka znanych metod wyznaczania pozycji oraz parametrów ruchu pieszych przy użyciu obrazu z kamery. Spośród istniejących rozwiązań, można wyróżnić dwa, najbardziej obiecujące, typy algorytmów, tj.:

- grupowanie spójnych wektorów ruchu,
- detekcja głów przy użyciu transformaty Hougha.

Grupowanie spójnych wektorów ruchu Istnieje duża grupa metod wykrywania pieszych oparta na grupowaniu spójnych wektorów ruchu [24, 25, 26, 27]. Ich wspólnym punktem jest obserwacja, że charakterystyczne cechy pochodzące od jednej osoby będą miały podobne właściwości (np. kierunek ruchu) oraz podobną lokację w przestrzeni. Ogólny schemat działania tych algorytmów można przedstawić następująco:

1. wykryj charakterystyczne punkty na obrazie,
2. oblicz przemieszczenie znalezionych punktów względem poprzedniej ramki,
3. połącz w grupy punkty o podobnym przemieszczeniu,
4. ograniczenie zawartości grup tak aby należały do nich tylko punkty znajdujące się blisko w przestrzeni
5. wyznaczenie pozycji pieszego na podstawie pozycji punktów z danej grupy.



Rysunek 3. Przykład działania algorytmu wykrywania pieszych opartego o grupowanie spójnych wektorów ruchu [26].

Metody oparte o grupowanie spójnych wektorów ruchu wykazują dużą skuteczność wykrywania pieszych - do 94% [26]. Jednak wydajność tych algorytmów znacznie spada w przypadku niskich częstotliwości rejestracji obrazu.

Detekcja głów przy użyciu transformaty Hougha Inną metodą automatycznego wykrywania pieszych przy użyciu kamer wideo, jest wykorzystanie kamer patrzących prostopadle w dół. W takim kadrze najlepiej widocznym elementem pieszego jest głowa. Założenie to pozwala wykorzystać właściwości transformaty Hougha - mapuje ona dany obraz do przestrzeni parametrów opisujących każde możliwe wystąpienie poszukiwanego kształtu (w tym wypadku okręgu).

Jako, że okrąg może być opisany równaniem:

$$(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2$$

to przestrzeń parametrów jest zdefiniowana przez trzy parametry: x_c , y_c , r . Detekcja okręgów przy użyciu tej metody polega na tym, że każdy piksel na wykrytych krawędziach kształtu „głosuje” na każdy możliwy zestaw parametrów x_c , y_c , r który mógł się przyczynić do powstania okręgu zawierającego ten piksel. W ten sposób zestawy parametrów odpowiadające za faktycznie istniejące okręgi zdobywają dużo „głosów” i jest wykrywany jako maksimum w przestrzeni parametrów.



Rysunek 4. Przykład detekcji okręgów (głów pieszych) przy użyciu transformaty Hougha. Zarówno rysunek A jak i B pokazują rezultaty detekcji dokonywane na tej samej ramce obrazu. W przypadku rys. A poziom progów jest zbyt wysoki - niektóre głowy są pominięte. Na rys. B poziom progów jest zbyt niski - wszystkie głowy są wykryte, ale pojawiają się również fałszywe detekcje.

Kluczowym elementem opisywanego algorytmu jest właściwe dobranie parametrów detekcji krawędzi oraz warunków jakie muszą spełnić punkty w przestrzeni parametrów aby zostały uznane za odpowiedniki faktycznie istniejących okręgów. W zależności od przyjętych wartości może dojść do pominięcia niektórych głów okręgów (błąd *false positive*) lub fałszywej detekcji rejonów nie będących okręgami (błąd *false negative*), patrz rys.: 4. Żadna z tych sytuacji nie jest pożądana, ale lepszym rozwiązaniem jest zgoda na wystąpienie fałszywych detekcji niż pominięcie rzeczywiście pojawiających się głów. W dalszym etapie fałszywe detekcje są odfiltrowywane przy użyciu wybranych klasyfikatorów (np. sieci neuronowych).

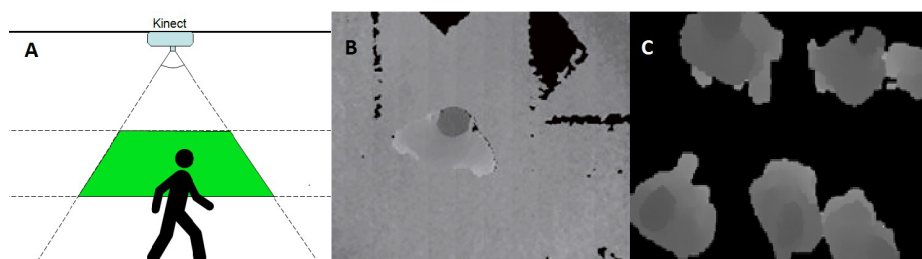
Monitoring wizyjny - podsumowanie Dużym plusem wykorzystania kamer wideo w automatycznym zbieraniu danych o parametrach ruchu pieszych jest możliwość wykorzystania już istniejących instalacji sprzętowych. Ponieważ systemy monitoringu wizyjnego są najbardziej rozpowszechnione, są również najlepiej przetestowane. W przeciwieństwie do innych nowo pojawiających się technologii istnieje pewność poprawnego funkcjonowania kamer wideo w różnych warunkach atmosferycznych i oświetleniowych.

Należy jednak zwrócić uwagę, że algorytmy automatycznej analizy obrazu, zazwyczaj są projektowane dla specyficznych sytuacji - danej geometrii przestrzeni, ułożenia kamery, natężenia ruchu. W szczególności jakość działania znacznej większości algorytmów znacznie spada w przypadku dużej gęstości tłumu. Obecnie żadne z rozwiązań nie stało się ogólnie akceptowalnym standardem. Dla wszystkich można wyróżnić sytuacje w których radzą sobie dobrze jak i takie w których występują częste błędy. Ponadto analiza danych obrazowych wymaga zazwyczaj dużej mocy obliczeniowej, co w przypadku pokrycia kamerami dużego budynku może mieć kluczowe znaczenie.

4.2 Czujniki głębokości

Pomimo iż, skanery 3D i czujniki głębokości były znane już od wielu lat, to dopiero pojawienie się na rynku urządzeń takich jak Asus Xtion i Microsoft Kinect było impulsem do szerokich badań nad wykorzystaniem czujników głębokości do wyznaczania parametrów ruchu pieszych [21, 20, 22, 23].

Sugerowanym przez autorów rozwiązaniem, jest wykorzystanie czujników przymocowanych do sufitu, patrzących pionowo w dół. Przy takim ustawieniu czujników czubek głowy pieszych odpowiada lokalnemu minimum w mapie głębokości. Ogólny schemat wykrywania pieszych przy użyciu map głębokości przedstawiony jest na rys.: 5.



Rysunek 5. Ogólny schemat algorytmów wykrywania pieszych z wykorzystaniem czujników głębokości. Czujnik zamocowany u sufitu, skierowany pionowo w dół, w jego polu widzenia można wyróżnić zakres wysokości, w której spodziewane jest pojawienie się czubka głowy przechodzących pod spodem osób (A). Przykładowa mapa głębokości (B), wyseparowane sylwetki pieszych (C).

Wykorzystanie czujników głębokości pozwala uzyskać bardzo wysoką wykrywalność pieszych - do 99% nawet w gęstym tłumie oraz dobrą estymację położenia pieszego w kolejnych klatkach. Z kolei dużym minusem urządzeń takich jak Kinect czy Xtion, korzystających do wyznaczania map głębokości z podczerwonego światła strukturalnego, jest ich wrażliwość na światło słoneczne. Powoduje to powstawanie wielu „dziur” w mapach głębokości (przykładem mogą być czarne pola na rys.:5 B). Ograniczają one użycie tego rodzaju czujników do zamkniętych budynków. Ponadto wymagają one dość rozbudowanego okablowania. Stworzenie dedykowanego urządzenia do wykrywania ruchu pieszych, mogłoby wyeliminować wspomniane minusy przy zachowaniu dużej dokładności pomiaru.

4.3 Znaczniki i czujniki noszone przez pieszego

Alternatywnym podejściem do akwizycji informacji na temat ruchu pieszego jest wykorzystanie znaczników i aktywnych czujników noszonych przez pieszego, które albo w pośredni sposób dostarczają informacji o ruchu pieszych albo w znaczny sposób upraszczają jego lokalizację.

Znaczniki takie jak w szczególności RFID (*Radio-frequency identification* - identyfikacja radiowa) od dawna stosowane są w rozwiązaniach przemysłowych i korporacyjnych. Rozwiązanie takie składa się z dwóch elementów: układu czytnika oraz układu znacznika. Znacznik wykorzystując fale radiowe emituje co pewien interwał czasu komunikat zawierający w zależności stosowanego standardu kodowania różne informacje. Układ czytnika natomiast ma za zadanie wykrywać i identyfikować znaczniki. W przypadku najpopularniejszych, pasywnych znaczników układ czytnika stanowi również źródło zasilania dla znacznika, który nie posiada własnego źródła energii a na potrzeby emisji gromadzi energię z otaczającego go pola elektromagnetycznego. Najczęściej stosowane znaczniki operują w odległości do 50 cm, ale część rozwiązań umożliwia pracę w zasięgu do paru metrów.

Stosuje się również tzw. aktywne czujniki czyli urządzenia wykrywające ruch noszone przez pieszych. Do niedawna jedynymi tego typu urządzeniami były pedometry (*krokomierze*), które wykrywają ruch poprzez wykrywanie pojedynczych kroków. Wraz ze wzrostem popularności smartfonów instytucja osobnego pedometru odeszła w zapomnienie oraz pojawiła się możliwość połączenia zbieranych danych z innymi sensorami obecnymi w telefonie komórkowym - magnetometrem i odbiornikiem GPS.

4.4 Sugerowane rozwiązanie

Do użytku w prezentowanym systemie, proponujemy rozwiązanie modułowe, które może działać z dowolnie wybranym źródłem danych wejściowych pod warunkiem utrzymania zdefiniowanego interfejsu. Możliwe będzie sterowanie symulacjami przy użyciu najwygodniejszych w użyciu sensorów i wybranej ich ilości.

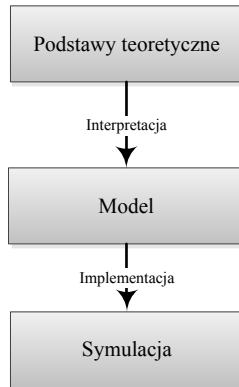
Najbardziej optymalnym rozwiązaniem wydaje się jednak być wykorzystanie czujników głębokości w postaci dedykowanego urządzenia integrującego w sobie sam czujnik głębokości, mikrokomputer dokonujący analizy danych i moduł umożliwiający połączenie z centralnym serwerem (np. moduł WiFi).

Tokeny jako urządzenia o najwyższej potwierdzonej dokładności, mogą zostać wykorzystane do testów i walidacji innych systemów pozyskiwania wiedzy o dynamice pieszych.

5 Modelowanie ruchu pieszych

Modelowanie ruchu pieszych rozpoczyna się od sformułowania niezbędnych podstaw teoretycznych. Prawidłową interpretację założeń teoretycznych prowadzi do stworzenia *modelu*. W momencie zrozumienia teorii przystępuje się do redukcji stopnia swobody poprzez wyspecyfikowanie kilku alternatyw, w taki sposób, by nie utracić spójności modelu. Podejście to jest przedstawione w schematyczny sposób na rysunku 6

Przykładem redukcji może być wybór odpowiedniej reprezentacji przestrzeni lub pozbawienie kontaktu werbalnego w populacji. Efektem implementacji modelu jest program komputerowy symulujący przyjęte założenia teoretyczne z



Rysunek 6. Interpretacja teorii prowadzi do sformułowania modelu, który następnie zostaje zaimplementowany i w efekcie powstaje symulacja.

uwzględnieniem wyżej wspomnianej redukcji. W przypadku dynamiki ruchu, teoria dopuszcza pewne założenia dotyczące zachowań pieszych (*reakcja na otoczenie, orientacja, metoda wyboru drogi, aspekty psychologiczne*). Istnienie takich założeń nie determinuje jednego sposobu interpretacji, czy reprezentacji w modelu.

Tłum pieszych może być postrzegany jako wiele rozproszonych cząstek w systemie. Z technicznego punktu widzenia ciągłe modele ruchu pieszych są podobne do dynamiki molekularnej (*ang. MD – molecular dynamics*). Symulacje *MD* opierają się na numerycznym rozwiązaniu równania Newtona zachodzących interakcji między cząsteczkami. Model *social force* [18] wykazuje właśnie to podobieństwo.

Modele można scharakteryzować według następujących kategorii [19]:

- skali – rozmiar problemu w odniesieniu do czasu i przestrzeni,
- rozdzielczości – poziom detali niezbędnych do reprezentacji przestrzeni,
- wierności odwzorowania – zestaw parametrów mający wpływ na model (wiek, wysokość, waga i sprawność pieszych).

Podczas budowania modelu niezbędne jest podjęcie kilku decyzji, niektórych bezpośrednio lub częściej pośrednio. Poniżej w tabeli 1 przedstawiono niektóre z nich. Głównym wyborem dla tworzenia modelu ruchu pieszych jest kryterium ciągły *vs* dyskretny oraz stochastyczny *vs* deterministyczny.

Dopóki istnieje czynnik wpływu na ludzkie zachowanie, który nie może być do końca poznany, wynik ewakuacji oraz ruch tłumu w ogólnym przypadku nie może zostać przewidziany – odnosi się to do *modeli stochastycznych*. Wybór pomiędzy modelem ciągłym a dyskretnym nie może zostać determinowany tylko aspektem teoretycznym. Biorąc pod uwagę skalowalność modelu i wykorzystanie go w realnych przykładach (ewakuacje z budynków o różnych rozmiarach) różnice w kryterium ciągły *vs* dyskretny stają się ważne. Innymi słowy, wybór zależy od podjętych decyzji implementacyjnych.

Dokładny	\longleftrightarrow	Ogólny
Dyskretny	\longleftrightarrow	Ciągły
Numeryczny	\longleftrightarrow	Analityczny
Stochastyczny	\longleftrightarrow	Deterministyczny
Ilościowy	\longleftrightarrow	Jakościowy
Makroskopowy	\longleftrightarrow	Mikroskopowy

Tablica 1. Kryteria tworzenia modelu.

Odnosząc się do kategorii rozdzielnosci modelu ruchu pieszych, można wymienić dwa główne pojęcia: *modele makroskopowe* oraz *mikroskopowe*. Modele makroskopowe nie reprezentują ogólnej teorii dynamiki tłumu i są zarezerwowane do specyficznych zastosowań. Modele mikroskopowe można określać za pomocą następujących cech:

- szczegółowe przedstawienie przestrzeni,
- osobna reprezentacja pieszych,
- jednolity algorytm ruchu,
- rozważanie osobistych cech i umiejętności pieszych.

5.1 Reprezentacja rzeczywistości

Najczęściej wykorzystuje się dwa podejścia w modelowaniu ruchu pieszych. Podejście makroskopowe opiera się na równaniach przepływu. Do klasyki należy hydrodynamiczny model Paulsa [16]. Brak możliwości symulacji konkretnych osób jest największym ograniczeniem modelu – dlatego, iż większość modeli opiera się na mikroskopowym podejściu (każdy pieszy traktowany jest indywidualnie).

Rozważając reprezentację przestrzeni w modelach mikroskopowych, istnieją dwa podejścia: *dyskretne* oraz *ciągłe*. Wybór jednego z nich jest ściśle związany z implementacją. Mocnym argumentem przemawiającym za ciągłą reprezentacją jest jej stosunkowa prostota i skalowalność takiego modelu. Użycie dyskretnego czasu w modelu zazwyczaj prowadzi do dyskretnej reprezentacji przestrzeni, a to z kolei narzuca wykorzystanie regularnej siatki. Szczególnym rodzajem dyskretnych modeli są modele oparte o teorię automatów komórkowych (*ang. Cellular Automata models*).

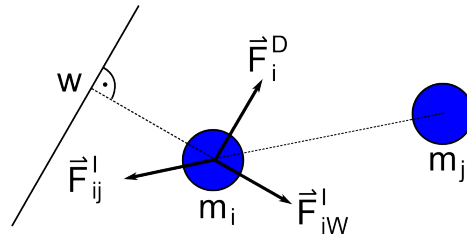
5.2 Model dyskretny

W modelach opartych o automaty komórkowe powierzchnia jest podzielona na kwadratowe komórki (*ang. cell*), które mogą być zajmowane maksymalnie przez jednego pieszego. Ruch pieszych jest determinowany głównie poprzez aktualną konfigurację sąsiedztwa. Dzięki temu model jest niezwykle wydajny, a implementacja i odpowiednia optymalizacja daje dobre rezultaty na komputerach osobistych. Do wad modeli opartych o CA można zaliczyć trudność w modelowaniu ruchu pieszych w różnych kierunkach (*ang. counter flow*). Taki problem

nie występuje w modelach symulujących ruch samochodów, ponieważ ruch na jednym pasie ruchu występuje tylko w jednym kierunku (*ang. uni-directional*) oraz kierowcy mają tendencję do reagowania tylko na samochody znajdujące się w pobliżu.[17]

5.3 Model ciągły

Jak już zostało wspomniane w sekcji 5 ciągle modele dynamiki pieszych można interpretować jako układ poruszających się cząstek. Równania ruchu opierają się na klasycznej mechanice Newtona. Obecnie najbardziej popularny model ciągły to model sił społecznych – *social forces*. Piesi są reprezentowani jako koła o różnym promieniu w dwuwymiarowej przestrzeni. Model *social forces* jest oparty na ciągłej przestrzeni oraz czasie.



Rysunek 7. Model sił społecznych - *social force*.

Zastosowanie modelu *social forces* do symulacji dynamiki pieszych w dużych obiektach takich jak stadion piłkarski posiada dwie główne wady:

1. W odniesieniu do interakcji między pieszymi liczba operacji na jednostkę czasu rośnie kwadratowo w zależności od liczby pieszych.
2. Nie jest jasne jak określić prędkość i siły odpychające dla dowolnego układu.

6 Podsumowanie

Obecnie większość systemów monitoringu jest wykorzystywana do weryfikacji *post factum* przebiegu pewnych wydarzeń. W ostatnich latach prowadzone są badania nad wykorzystaniem systemów monitoringu do automatycznej i natychmiastowej reakcji na różnego rodzaju zdarzenia - np. wystąpienie silnych zakłóceń typowego ruchu, bójka, pożar . . . itp. System, którego koncepcja przedstawiona jest w tym artykule idzie krok dalej, pozwala na przewidywanie sytuacji jakie mogą nastąpić w przyszłości, a także wykorzystanie tej wiedzy do poprawy komfortu i bezpieczeństwa użytkowników danego budynku.

Wykorzystanie dopracowanych i dobrze zwalidowanych modeli dynamiki pieszych w połączeniu z nowymi możliwościami wyznaczania parametrów ruchu

pieszych pozwala na stworzenie sterowanych danymi symulacji zachowań użytkowników danego budynku. Pozwalają one nie tylko na detekcja aktualnego rozmieszczenia osób w budynku, ale również predykcje ich pozycji w przyszłości.

Prezentowane rozwiązanie pozwala na wykrycie części potencjalnych zagrożeń dla bezpieczeństwa, zanim one jeszcze nastąpią. Zastosowanie proponowanego systemu może również przyspieszyć ewakuację budynku w sytuacjach zagrożenia, np. poprzez sterowanie drogami ewakuacyjnymi. Równoległe przeprowadzenie symulacji dla różnych możliwych sytuacji, oraz przetestowanie efektów różnych działań, może pomóc w podjęciu najlepszych decyzji, zarówno obsłudze budynku jak i służbom ratowniczym.

Również, wiele do zaoferowania prezentowany system ma w kontekście zwiększenia komfortu użytkownika budynku, przy minimalizacji kosztów użytkowania. Może on zostać wykorzystany do automatycznego sterowania takimi elementami jak oświetlenie, ogrzewanie czy położenie wind. Wreszcie znajomość wzorców zachowań pieszych w budynku w połączeniu z predykcją ich położenia może zostać z powodzeniem wykorzystana w działaniach marketingowych czy akcjach promocyjnych.

Bibliografia

- [1] Burstedde C.K., Klauck K., Schadschneider A., Zittartz J.: Simulation of Pedestrian Dynamics using a 2-dimensional Cellular Automaton, *Phys. Rev. A* **295** (2001) 507–525.
- [2] Dijkstra J., Jessurun A.J., Timmermans H.: A Multi-Agent Cellular Automata System for Visualising Simulated Pedestrian Activity, *Proceedings of ACRI*, (2000) 29–36.
- [3] Dudek–Dyduch E., Was J.: Knowledge Representation of Pedestrian Dynamics in Crowd. Formalism of Cellular Automata. *Proceedings of ICAISC, Lecture Notes in Artificial Intelligence* **4029** (2006) 1101–1110.
- [4] Hall E.T.: *The Hidden Dimension*. Garden City, New York (1966)
- [5] Helbing D., Molnar P.: A Social Force Model for Pedestrian Dynamic, *Phys. Rev. E* **51**, 4284–4286 (1995)
- [6] Lubaś R., Miller J., Mycek M., Porzycki J., Wąs J.: Three different approaches in pedestrian dynamics modeling, *New results n dependability and computer systems, Advances in Intelligent Systems and Computing Vol. 224*, 285-294, (2013)
- [7] Narimatsu K., Shiraishi T., Morishita S.: Acquisiting of Local Neighbour Rules in the Simulation of Pedestrian Flow by Cellular Automata, *Proceedings of 6th ACRI, LNCS* **3305**, Amsterdam (2004) 211–219
- [8] Pauls J.: *Movement of people*, DiNenno (1995)
- [9] Was J., Gudowski B., Matuszyk P.J.: Social Distances Model of Pedestrian Dynamics, *International Conference on Cellular Automata For Research & Industry, Perpignan, France, Lecture Notes in Computer Science Vol. 4173* (2006)
- [10] Wąs J.: Cellular Automata Model of Pedestrian Dynamics for Normal and Evacuation Conditions, *Proceedings of Intelligent Systems Design and Applications, Wroclaw, IEEE CS Washington Brussels Tokyo* (2005) 154-159
- [11] Wąs J., Lubaś R., Izak P.: Projektowanie ewakuacji z obiektów użyteczności publicznej z wykorzystaniem symulacji komputerowych, *Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie : seminarium naukowo-techniczne : Zakopane, 4–6 października 2012 r., Izba Rzeczoznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Pożarnictwa, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Pożarnictwa. Oddział Małopolska, Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie. — Kraków : Wydawnictwo SITP. Oddział Małopolska, cop. 2012*
- [12] Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407 (2000) 487–490
- [13] Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T.: Freezing by heating in a driven mesoscopic system. *Phys. Rev. Lett.* 84 (2000) 1240–1243
- [14] Video films by Thomas Arns, Wannenstr. 22, 70199 Stuttgart, Germany.
- [15] Helbing, D. *Behavioral Science* 36, 298–310 (1991).

- [16] J. Pauls, Movement of People, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3-263, 1995
- [17] K. Nagel and M. Schreckenberg, A cellular automaton model for freeway traffic, Journal de Physique I, 1992, 2, 2221–2229, 12
- [18] D. Helbing, P. Molnar, Social Force Model for Pedestrian Dynamics, PHYSICAL REVIEW E, 1995, 51, 4282
- [19] Nagel, Kai and Wolf, Dietrich E. and Wagner, Peter and Simon, Patrice, Two-lane traffic rules for cellular automata: A systematic approach, Phys. Rev. E, 1998, 58, 1425–1437, Aug, American Physical Society
- [20] X. Zhang, Water Filling: Unsupervised People Counting via Vertical Kinect Sensor. Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS), 2012 IEEE Ninth International Conference on. IEEE, 2012.
- [21] S. Seer, N. Brändle, C Ratti. Kinects and Human Kinetics: A New Approach for Studying Crowd Behavior. arXiv preprint arXiv:1210.2838 (2012).
- [22] L. Steyaert, Crowd analysis using TOF-technology: Blob detection. Perso-nendetectie. 2011-2012.
- [23] R. Lubaś, M. Mycek, J. Porzycki, J. Waś, Dynamic data driven simulation of pedestrian movement with automatic validation, Traffic and granular flow '13: 25–27 September 2013, Jülich, Germany.
- [24] M. Komorkiewicz, Real-Time Detection of Movement in Prohibited Direction for Video Surveillance System. Image Processing & Communications 17.4 (2012): 251-264.
- [25] V. Rabaud, S. Belongie, Counting crowded moving objects. Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1. IEEE, 2006.
- [26] G. Brostow, R. Cipolla. Unsupervised bayesian detection of independent motion in crowds. Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1. IEEE, 2006.
- [27] A. M. Cheriyyadat, B. Bhaduri, R.J. Radke. Detecting multiple moving objects in crowded environments with coherent motion regions. Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2008. CVPRW'08. IEEE Computer Society Conference on. IEEE, 2008.