

System inteligentnego oświetlenia

Dawid Karolewski, Grzegorz Nieużyła, Jakub Zyngier

25 stycznia 2022

1 Model oświetlenia

W pierwotnej wersji wybrano następujący bazowy model obliczania oświetlenia w danym punkcie:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

Gdzie:

- E - natężenie oświetlenia [lx]
- I - światłość źródła światła [cd]
- r - odległość punktu powierzchni od źródła światła [m]

Natężenie oświetlenia będzie skalowane w systemie do wewnętrznej skali 0-100.

Kolejno natężenie w danym punkcie jest sumą natężeń pochodzących ze wszystkich źródeł, jeśli w linii prostej nie znajdują się żadne ściany:

$$E_n = \sum_i^n E_i$$

Uproszczenia:

- Lampy są traktowane jako punktowe źródła światła
- Natężenie jest takie samo dla całej komórki
- Brak odbicia i rozproszenia światła

2 Podstawowy model adaptacji

Do sterowania światłami posłużono się następującym algorytmem adaptacji:

1. Jeśli brak wykrytego ruchu przez kamery w pokoju to gaszone są światła
2. Jeśli wykryto ruch to odczytywana jest wartość z czujników w danym pokoju
3. Na podstawie wartości z czujników w sektorze obliczana jest na wg. poniższego algorytmu wartość natężenia w punkcie, który ma spełniać zdefiniowane wymagania co do natężenia
 - (a) Jeśli punkt jest blisko sensora to zakłada się za wartość natężenia tego punktu wartość sensora
 - (b) Dla punktów dalszych sumuje się kwadraty dystansów od punktu wyliczanego do wszystkich sensorów i następnie sumuje je
 - (c) Następnie przeskalowuje się te dystansy przez tą sumę, aby otrzymać procentowy wkład natężenia danego sensora w pomiarze
 - (d) Następnie stosunek ten jest mnożony ze wskazaniem odpowiedniego sensora i w rezultacie otrzymujemy przybliżoną wartość natężenia w zadanym punkcie na podstawie sensorów rozmieszczonych w danym pokoju

4. Jeśli wartość jest poniżej zadanego progu to zwiększana jest o epsilon wartość mocy lampy w sektorze w, którym znajduje się ten punkt
5. Sprawdzana jest ponownie wartość natężenia w zadanym punkcie na podstawie ponownych odczytów z czujników i regulowana znowu wartość natężenia lamp
6. Jeżeli wartość jest nadal niewystarczająca, kalibracja jest wykonywana ponownie

3 Docelowy model adaptacji

W tej sekcji zostanie omówiony docelowy model sterowania systemu. Głównymi składowymi tego modelu są 3 główne moduły: moduł sterowania światłami, moduł sterowania roletami oraz model adaptacji i predykcji na podstawie ruchu osób.

3.1 Model propagacji światła

Docelowy model propagacji zawiera w sobie odpowiednie składowe, które należy uwzględnić.

Składowe modelu propagacji światła:

- natężenie światła jest wprost proporcjonalne do światłości źródła oraz odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od danego punktu:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

- światło podlega różnego rodzaju zjawiskom optycznym, do których należą między innymi:
 - odbicie - kąt odbicia jest nie zależny od rodzaju powierzchni i jest równy kątowi padania:

$$\alpha = \beta$$

- refrakcja (rozproszenie) - zachodzi w przypadku, gdy światło pada na powierzchnię chropowatą; można wtedy w uproszczeniu w wielu przypadkach zastosować prawo Rayleigha, które dla jednej cząstki przyjmuje postać:

$$I = I_0 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left(\frac{d}{2} \right)^6$$

gdzie:

- * I - rzeczywista intensywność światła jaka dociera do obserwatora [cd]
- * I_0 - intensywność wychodząca od źródła światła [cd]
- * n – współczynnik załamania światła materiału cząstki
- * d – średnica cząstki [m]
- * R – odległość do cząstki [m]
- * θ – kąt rozproszenia [°]
- dyfrakcja (ugięcie) - dla ośrodków posiadających różne współczynniki załamania zachodzi zjawisko ugięcia i kąt załamania można obliczyć z prawa Snelliusa:

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

- źródła światła mają swoją żywotność i z czasem ich sprawność spada, a także w pewnym momencie przepalają się; dodatkowo podczas ich zapalania i gaszenia czas ten skraca się
- źródła światła powinny mieć moc maksymalną z jaką mogą świecić, a nie nieskończenie zwiększać swoją światłość, aby zadowolić warunki natężenia w danym punkcie:

$$I_i = \min[I_i, I_{max}]$$

Mimo tego, iż model jest dosyć zbliżony do realnego scenariusza, uznaje się za odpowiednie ominięcie pewnych czynników.

Uproszczenia:

- pominięcie rzadziej występujących lub mających bardzo znikomy wpływ na propagację światła zjawisk optycznych takich jak: polaryzacja i dwójłomność

3.2 Model sterowania światłami

Warunki aktywacji:

- Detekcja człowieka przez kamery w danym pokoju
- Aktywacja najpierw lamp będących najbliżej punktu detekcji, jeśli moc lampy nie będzie pozwalała na zadowolenie punktu detekcji, angażowana jest następna najbliższa lampa

Algorytm rozpoznania/uczenia:

- Co jakiś czas następuje tzw. dostrajanie lamp, które polega na świeceniu lamp z różnymi mocami
- Następnie na podstawie sensorów, mierzone jest natężenie w punktach detekcji i sprawdzany jest procentowy/wagowy udział danej lampy w oświetleniu danego punktu
- Takie podejście pozwala na wykrycie takich sytuacji jak np. pojawienie się obiektów w pomieszczeniach ograniczających propagację światła
- Znając wagi lamp dla punktów detekcji, możemy przy sterowaniu światłami dobierać kolejność zapalania lamp dla danego punktu detekcji wg. wag lamp
- Na początku jest więc świecona lampa o najwyższej wadze dla danego punktu, a jeśli natężenie nie jest wystarczające, angażowana jest lampa z drugą najwyższą wagą dla tego punktu

Algorytm sterowania:

1. Światła są histerezą polegająca na: po pierwsze na opóźnieniu gaszenia światła, jeśli warunki aktywacji będą niespełnione oraz po drugi stopniowe wygaszania, a nie nagle
2. Jeśli warunki aktywacji są spełnione światło sąysterowane wg. poniższego algorytmu:
 - (a) Na podstawie wartości z czujników w sektorze obliczana jest na wg. poniższego algorytmu wartość natężenia w punkcie, który ma spełniać zdefiniowane wymagania co do natężenia
 - i. Jeśli punkt jest blisko sensora to zakłada się za wartość natężenia tego punktu wartość sensora
 - ii. Dla punktów dalszych sumuje się kwadraty dystansów od punktu wyliczanego do wszystkich sensorów i następnie sumuje je
 - iii. Następnie przeskalowuje się te dystansy przez tą sumę, aby otrzymać procentowy wkład natężenia danego sensora w pomiarze
 - iv. Następnie stosunek ten jest mnożony ze wskazaniem odpowiedniego sensora i w rezultacie otrzymujemy przybliżoną wartość natężenia w zadanym punkcie na podstawie sensorów rozmieszczonych w danym pokoju
 - (b) Jeśli wartość jest poniżej zadanego progu to zwiększana jest o epsilon wartość mocy lampy w sektorze w, którym znajduje się ten punkt
 - (c) Sprawdzana jest ponownie wartość natężenia w zadanym punkcie na podstawie ponownych odczytów z czujników i regulowana znowu wartość natężenia lamp
 - (d) Jeżeli wartość jest nadal niewystarczająca, kalibracja jest wykonywana ponownie
3. W przypadku spalenia lamp pod wpływem warunków losowych lub naturalnie z biegiem czasu, system poinformuje o konieczności wymiany lampy, a tymczasowo wyłączy daną lampę z funkcjonowania

3.3 Model sterowania roletami

Jeśli dla przynajmniej jednego punktu detekcji spełnia warunki aktywacji poniżej, algorytm sterowania roletami zaczyna działać.

Warunki aktywacji:

- Punkt detekcji, którego natężenie światła jest większe niż maksymalny próg natężenia światła zdefiniowany i pożądaný dla tego punktu
- Punkt detekcji leży w linii prostej do okna z roletami, na której to nie występują żadne ściany

Algorytm sterowania:

1. Stopień zakrycia przez rolety wyrażony w procentach obliczany jest na zasadzie proporcji przy założeniach, że 100% symbolizuje całkowite zasłonięcie i brak światła słonecznego:

$$Z = 25\% * \frac{E_{dp_{max}} - E_{dp_{min}}}{E_{dp_{max}}} + 100\% * \frac{E_{dp} - E_{dp_{max}}}{E_{dp}}$$

gdzie:

- (a) Z - stopień przesłonięcia zasłony [%]
 - (b) E_{dp} - zmierzone natężenie w punkcie detekcji (punkt z określonym wymaganym natężeniem); indeksy max i min oznaczają maksymalne i minimalne wymagane progi natężenia [lx]
2. Poprzez dodanie pierwszego czynnika sumy układ sterowania ustawia większe przesłonięcie, żeby nie był wyzwalany zbyt często; stopień wyprzedzenia uzależniony jest od zakresu dopuszczalnego i maleje proporcjonalnie, gdy zakres ten zmniejsza się (nie można przesłonić za dużo z góry, jeśli zakres dopuszczalny jest bardzo wąski)

3.4 Model adaptacji i predykcji

Model ten pozwala przewidywać położenie ludzi na podstawie poprzednich ścieżek wykrytych przez kamery i z wyprzedzeniem przekazać tę informację do modelu sterowania lampami.

Warunki aktywacji:

- Osoba wykryta przez kamerę

Algorytm adaptacji i predykcji:

1. Ścieżki osób są rejestrowane na podstawie detekcji ich pozycji za pomocą kamer
2. Na podstawie wcześniej wyznaczonych ścieżek system dedykuje, w obszar którego punktu/ów detekcji zmierza osoba oraz z wyprzedzeniem wysteruje lampy, aby zapewnić wymagane natężenie do wydedukowanych punktów detekcji
3. W przypadku, gdy ścieżka nie zmierza jednak do przewidywanych punktów detekcji, światła dla błędnie wyznaczonych przyszłych punktów są gaszone i system dobiera inną ścieżkę lub przechodzi w tryb (gdy druga ścieżka też okaże się błędna), w którym nie uwzględnia dla danej osoby predykcji i reaguje tylko na obecną sytuację na podstawie podstawowego modelu sterowania światłem
4. System również w szerszej perspektywie próbuje rozpoznać powtarzalny tryb dzienny konkretnej osoby i próbuje go aplikować i dostrajać na podstawie wcześniejszej logiki działania
5. System predykcji nie traktuje wszystkich historycznych ścieżek tak samo - stara się ścieżki dawniejsze traktować z mniejszym prawdopodobieństwem jako, że rytm dnia może się zmieniać dla każdej osoby
6. Z czasem system zapomina dla danej osoby danej ścieżki jeśli jest powyżej jest jakiegoś progu (próg zapomnienia) - próg ten jest indywidualny i na bieżąco adaptowany na podstawie częstotliwości wykrycia danej osoby, ponieważ np. próg zapomnienia ścieżek dawnych powinien być wyższy dla osób mniej aktywnych

7. Z racji tego, że system predykcji jest indywidualny dla każdej osoby, to dla osób nowy proces uczenia zajmuje pewny czas, aby się dostroić - w tym celu system posługuje się algorytmem:
 - (a) Sporządza heat-mapy dla każdej osoby i następnie nakłada na siebie
 - (b) Powstaje w rezultacie ogólna heat-mapa, która może być nałożona jako wstępna predykcja dla nowej osoby
 - (c) Jeśli ścieżki są często rozbieżne z domyślną heat-mapą to wtedy domyślna heat-mapa nie jest brana do predykcji, lub brana jest z małą wagą, a system adaptuje się do indywidualnych preferencji osoby
8. System stara się również obliczać średnie prędkości osób, ponieważ ma to wpływ na dokładny czas zapalania lamp, ponieważ prędkość przemieszczania może się różnić dla różnych osób

4 Obecny model adaptacji

Obecny system zawiera poszczególne funkcjonalności:

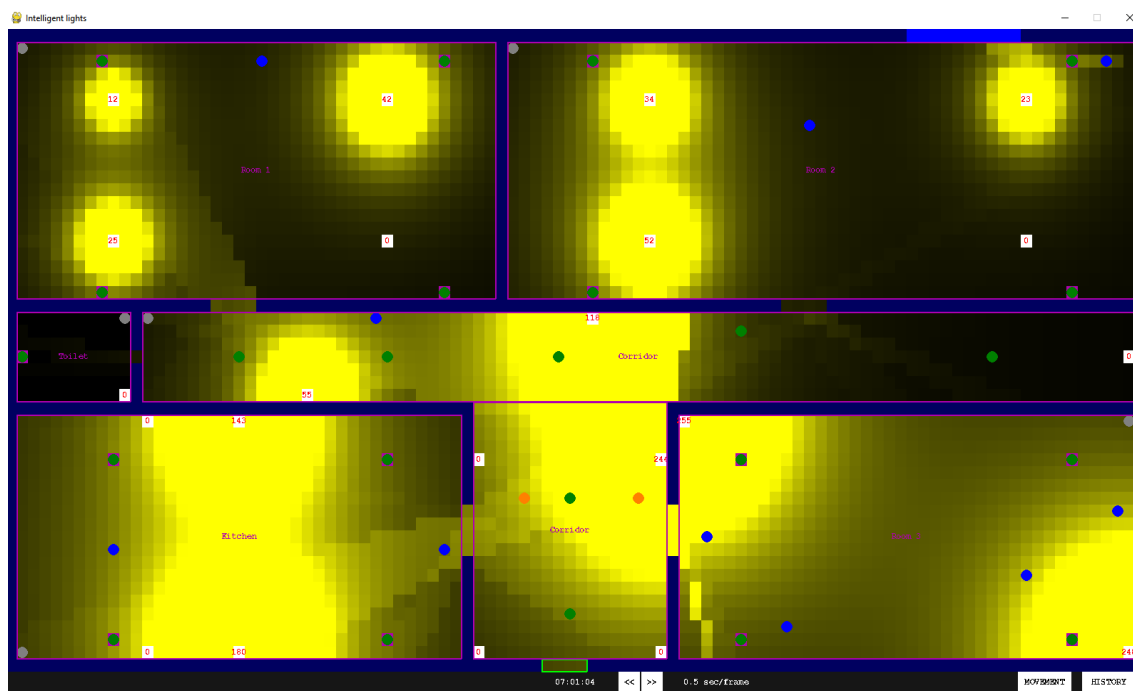
- Podstawowy model propagacji światła - natężenie światła jest wprost proporcjonalne do światłości źródła światła oraz odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od źródła światła
- Symulator światła słonecznego - imitacja świecenia światła słonecznego w cyklu dziowym
- Zachowanie ruchu osób - model poruszania się osób; każda osoba posiada zdefiniowane prawdopodobieństwa z jakim odwiedza dane pomieszczenie/miejsce
- Moduł czujników światła - wykorzystuje heurystykę kwadratu odległości do obliczania przybliżonej wartości światła w danym punkcie
- Moduł sterowania lampami - po wykryciu obecności osoby w pokoju, dla danego punktu detekcji obliczane jest dzięki modułowi czujników przybliżona wartość natężenia; w przypadku braku satysfakcji warunków zwiększana moc najbliższej lampy; gdy jest to nie wystarczające angażowane są kolejnie najbliższe lampy
- Moduł sterowania roletami - ogranicza światło słoneczne, jeśli zostały zainstalowane na oknach; bazują na natężeniu obliczonemu przez czujniki w punkcie detekcji; jeśli natężenie jest za duże procentowo ograniczają wpływ światła słonecznego
- Moduł predykcji ruchu osób - zbiera informację o ścieżkach każdej osoby, a następnie na podstawie historycznych danych przewiduje miejsce w jakim prawdopodobnie znajdzie się dana osoba
- Przyspieszanie czasu - pozwala na przyspieszania symulacji; każdy krok jest liczony, lecz wyświetlany jest tylko co pewien interwał ustawiony przez użytkownika

Przyjęto następujące oznaczenia:

- Niebieskie pola - ściany
- Białe pola z numerem w środku - lampy, gdzie liczba oznacza obecną światłość źródła
- Niebieskie/czerwone koła - osoba odpowiednio widoczna/niewidoczna przez kamerę
- Zielone koła - punkty detekcji
- Pomarańczowe koła (w naszym przypadku zbieżne ze wszystkimi zielonymi kołami) - czujniki światła
- Szare koła - kamery identyfikujące ruch i pozycję osób
- Fioletowe linie - wyznaczają granice pomieszczeń

Główny widok aplikacji prezentujący propagację światła na danym piętrze.

Na tym widoku można śledzić, które drogi są najczęściej uczęszczane przez osoby.



Rysunek 1: Bazowy widok



Rysunek 2: Widok historii ruchu osób