

PENGEMBANGAN SISTEM PINTAR UNTUK MANAJEMEN PERLINTASAN PEJALAN KAKI BERBASIS IOT

Rendi Saputra¹⁾

¹⁾Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bina Darma

rendi23desm04@gmail.com

Abstract (English)

The traditional pedestrian crossing management system often proves ineffective and unsafe, especially in busy urban areas. This system frequently relies on static visual and auditory signals that may not be visible or audible to all pedestrians. Additionally, it may not take into account factors such as traffic flow and pedestrian volume, leading to delays and frustration. This research aims to develop a smart IoT-based pedestrian crossing management system that is more effective and safe. The system is expected to enhance pedestrian crossing safety and efficiency. The smart system is designed using a layered architecture. The outer layer consists of sensors and actuators used to detect the presence of pedestrians and vehicles, as well as to control crossing signals. The middle layer comprises algorithms used to process sensor data and make decisions regarding signal control. The innermost layer consists of communication systems used to connect the system components. The system has been tested in a simulation environment and has shown promising results. It can accurately detect pedestrians and vehicles and adjust crossing signals in real-time. A smart IoT-based pedestrian crossing management system offers a more effective and safe solution compared to traditional systems. It has the potential to improve pedestrian crossing safety and efficiency in urban areas.

Article History

Submitted: 10 Mei 2024

Accepted: 16 Mei 2024

Published: 17 Mei 2024

Key Words

Pedestrian crossing management, IoT, sensors, pedestrian detection, signals.

Abstrak (Indonesia)

Sistem manajemen perlintasan pejalan kaki tradisional seringkali tidak efektif dan aman, terutama di daerah perkotaan yang ramai. Sistem ini seringkali mengandalkan sinyal visual dan suara statis yang mungkin tidak terlihat atau didengar oleh semua pejalan kaki. Selain itu, sistem ini mungkin tidak memperhitungkan faktor-faktor seperti arus lalu lintas dan jumlah pejalan kaki, yang dapat menyebabkan penundaan dan frustrasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT yang lebih efektif dan aman. Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi perlintasan pejalan kaki. Sistem pintar ini dirancang dengan menggunakan arsitektur berlapis. Lapisan terluar terdiri dari sensor dan aktuator yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki dan kendaraan, serta untuk mengontrol sinyal perlintasan. Lapisan tengah terdiri dari algoritma yang digunakan untuk memproses data sensor dan untuk membuat keputusan tentang kontrol sinyal. Lapisan terdalam terdiri dari sistem komunikasi yang digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen sistem. Sistem ini telah diuji di lingkungan simulasi dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Sistem ini mampu mendeteksi pejalan kaki dan kendaraan dengan akurasi tinggi, dan dapat menyesuaikan sinyal perlintasan secara real time. Sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT menawarkan solusi yang lebih efektif dan aman dibandingkan dengan sistem tradisional. Sistem mendeteksi pejalan kaki dan kendaraan dengan akurasi tinggi, dan dapat menyesuaikan sinyal perlintasan secara real time. Sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT menawarkan solusi yang lebih efektif dan aman dibandingkan dengan sistem tradisional. Sistem ini memiliki potensi untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perlintasan pejalan kaki di daerah perkotaan.

Sejarah Artikel

Submitted: 10 Mei 2024

Accepted: 16 Mei 2024

Published: 17 Mei 2024

Kata Kunci

Manajemen perlintasan pejalan kaki, IoT, sensor, deteksi pejalan kaki, sinyal

PENDAHULUAN

Pengembangan Sistem Pintar untuk Manajemen Perlintasan Pejalan Kaki Berbasis IoT adalah sebuah upaya inovatif dalam bidang teknologi transportasi yang bertujuan untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan kenyamanan di perlintasan pejalan kaki. Dengan memadukan konsep Internet of Things (IoT) dengan infrastruktur lalu lintas yang ada, sistem ini bertujuan untuk mengubah cara mengelola perlintasan pejalan kaki. Di tengah dinamika perkotaan yang terus berkembang, perlintasan pejalan kaki menjadi bagian penting yang memerlukan perhatian khusus dalam upaya meningkatkan keselamatan dan mobilitas bagi pengguna jalan. Perlintasan ini sering kali menjadi titik rawan kecelakaan, terutama di lingkungan perkotaan yang padat lalu lintas (Nanda et al,2020). Tantangan utama yang dihadapi adalah koordinasi yang kurang optimal antara pengguna jalan bermotor dan pejalan kaki, kurangnya visibilitas, serta perilaku pengguna jalan yang tidak selalu patuh terhadap peraturan (Ahmad,2019). Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi telah membuka peluang baru untuk mengatasi tantangan tersebut. Salah satu solusi yang menarik adalah pengembangan sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis Internet of Things (IoT). Konsep ini memadukan teknologi sensor, koneksi internet, dan analisis data untuk menciptakan lingkungan lalu lintas yang lebih aman dan efisien (Al-Qaimari et al,2019).

Tujuan utama dari pengembangan sistem ini adalah menciptakan lingkungan lalu lintas yang lebih aman bagi semua pengguna jalan, terutama para pejalan kaki yang sering kali rentan terhadap kecelakaan di jalan raya. Melalui penerapan teknologi sensor yang terhubung ke jaringan internet, sistem ini dapat mengumpulkan data secara real-time tentang kondisi lalu lintas, perilaku pengguna jalan, dan faktor-faktor lain yang memengaruhi keselamatan di perlintasan pejalan kaki. (Malikopoulos,2016). Salah satu keunggulan utama dari sistem ini adalah kemampuannya untuk memberikan informasi yang akurat dan cepat kepada pihak yang berwenang, seperti petugas lalu lintas atau pusat pengendalian lalu lintas. Informasi ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas, memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya, atau bahkan mengarahkan arus lalu lintas secara dinamis untuk menghindari kemacetan (Wang et al,2018).

Ruang lingkup pengembangan sistem pintar ini sangat luas dan meliputi beberapa aspek, antara lain:

Desain dan implementasi sensor-sensor yang sesuai untuk mengumpulkan data lalu lintas dan perilaku pengguna jalan. Pengembangan infrastruktur jaringan untuk mentransmisikan data dari sensor ke pusat kontrol. Pembuatan perangkat lunak untuk menganalisis dan memproses data yang terkumpul, serta menghasilkan output yang berguna bagi pengaturan lalu lintas. Integrasi sistem dengan infrastruktur lalu lintas yang ada, seperti lampu lalu lintas dan sistem peringatan dini. Pengujian sistem secara menyeluruh untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan harapan dan dapat diandalkan dalam situasi nyata.

BAHAN DAN METODE

2.1. Bahan:

Bahan-bahan yang digunakan untuk Pengembangan Sistem Pintar untuk Manajemen Perlintasan Pejalan Kaki Berbasis IoT antara lain sebagai berikut beserta kegunaannya :

Sensor Radar untuk Mendeteksi Pejalan Kaki: Digunakan untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki di sekitar perlintasan. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi pantulan gelombang tersebut dari objek yang bergerak, seperti pejalan kaki. Dengan menggunakan sensor radar, sistem dapat mengidentifikasi keberadaan pejalan kaki dan menghasilkan data tentang posisi, arah, dan kecepatan gerak mereka.

Sensor Kamera untuk Mendeteksi Kendaraan: Digunakan untuk mendeteksi kendaraan yang mendekati atau melintasi perlintasan pejalan kaki. Sensor ini dapat mengambil gambar atau video dari lingkungan sekitar perlintasan dan menggunakan teknik pengolahan citra komputer untuk mengidentifikasi kendaraan, menghitung kecepatan, dan memprediksi perilaku mereka. Dengan menggunakan sensor kamera, sistem dapat memantau lalu lintas kendaraan dan mengkoordinasikan pergerakan pejalan kaki dengan aman.

Lampu Sinyal untuk Mengontrol Pergerakan Pejalan Kaki dan Kendaraan: Lampu sinyal digunakan untuk mengatur pergerakan pejalan kaki dan kendaraan di perlintasan. Lampu ini biasanya terdiri dari lampu merah, kuning, dan hijau yang mengindikasikan kapan pejalan kaki atau kendaraan harus berhenti, siap, atau melanjutkan perjalanan. Dengan menggunakan lampu sinyal, sistem dapat memberikan instruksi yang jelas kepada pengguna jalan dan menghindari tabrakan antara pejalan kaki dan kendaraan.

Mikrokomputer untuk Memproses Data Sensor dan Mengontrol Aktuator: Mikrokomputer, seperti Raspberry Pi atau Arduino, digunakan sebagai otak dari sistem. Mikrokomputer ini menerima data dari sensor radar, sensor kamera, dan sensor lainnya, kemudian memproses informasi tersebut untuk mengambil keputusan tentang pengaturan lampu lalu lintas dan pergerakan aktuator lainnya. Selain itu, mikrokomputer juga bertanggung jawab untuk mengontrol aktuator, seperti lampu sinyal dan sistem peringatan, sesuai dengan instruksi yang diberikan.

Jaringan Nirkabel untuk Menghubungkan Komponen Sistem: Jaringan nirkabel, seperti Wi-Fi atau Bluetooth, digunakan untuk menghubungkan semua komponen sistem. Melalui jaringan nirkabel ini, data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor dapat dikirimkan ke mikrokomputer untuk diproses dan dianalisis. Selain itu, jaringan nirkabel juga memungkinkan komunikasi antara mikrokomputer dan aktuator untuk mengontrol pergerakan lampu sinyal dan sistem lainnya secara real-time.

2.2. Metode

Metode penelitian ini menggambarkan pendekatan sistematis yang digunakan dalam pengembangan sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis Internet of Things (IoT). Pendekatan ini dimulai dengan perancangan arsitektur sistem yang mencakup pemilihan komponen utama seperti sensor, aktuator, kontroler, dan sistem komunikasi, serta pembuatan algoritma untuk pengolahan data dan pengambilan keputusan. Selanjutnya, implementasi sistem dilakukan dengan memasang sensor-sensor dan aktuator-aktuator di perlintasan pejalan kaki, memprogram kontroler dengan algoritma yang telah dirancang, dan mengkonfigurasi sistem komunikasi. Pengujian sistem dilakukan melalui simulasi lingkungan untuk mengevaluasi kinerja dan mengidentifikasi masalah potensial sebelum diterapkan di lapangan. Evaluasi sistem kemudian dilakukan dengan menerapkan sistem di perlintasan pejalan kaki yang sebenarnya dan memantau kinerjanya dalam situasi nyata. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem pintar ini dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas di perlintasan pejalan kaki.

Proses ini mencakup beberapa tahap yang saling terkait, dimulai dari desain sistem yang merinci arsitektur dan komponen-komponen yang akan digunakan, dilanjutkan dengan implementasi yang melibatkan pemasangan fisik sensor dan aktuator serta pengaturan kontroler sesuai dengan algoritma yang telah dirancang. Setelah implementasi, tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, mengidentifikasi potensi masalah, dan memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai yang diharapkan. Terakhir, evaluasi sistem dilakukan dengan menerapkan solusi di lapangan sesungguhnya dan memantau kinerjanya dalam situasi nyata, dengan tujuan akhir meningkatkan keselamatan dan efisiensi lalu lintas di perlintasan pejalan kaki. Keseluruhan proses ini dirancang untuk memastikan kesuksesan implementasi solusi yang inovatif ini dengan memperhatikan setiap tahapan secara komprehensif dan sistematis.

Tabel 1. Tahap-Tahap Penelitian

Tahap	Aktivitas
Desain Sistem	Menentukan arsitektur, memilih perangkat keras, merancang algoritma
Implementasi Sistem	Memasang sensor dan aktuator, memprogram kontroler, mengkonfigurasi sistem komunikasi
Pengujian Sistem	Menguji sistem di lingkungan simulasi, menganalisis hasil pengujian
Evaluasi Sistem	Menerapkan sistem di perlintasan pejalan kaki yang sebenarnya, mengevaluasi kinerja sistem

Tabel 1 menunjukkan gambaran tentang detail implementasi dan konfigurasi sistem pada setiap tahap dalam metode pengembangan sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT. Dengan memecah setiap tahap menjadi sub-tahap yang lebih spesifik, tabel ini menyajikan informasi yang lebih rinci tentang langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam setiap fase pengembangan sistem. Pada tahap Desain Sistem, tabel menyoroti pentingnya merencanakan arsitektur sistem secara komprehensif, termasuk pemilihan komponen utama seperti sensor, aktuator, kontroler, dan sistem komunikasi. Selain itu, algoritma-algoritma pengolahan data dan pengambilan keputusan juga dirancang dengan cermat untuk memastikan fungsionalitas sistem yang optimal. Selanjutnya, pada tahap Implementasi, tabel menjelaskan langkah-langkah praktis yang diperlukan untuk memasang sensor-sensor dan aktuator-aktuator di lapangan, serta memprogram kontroler sesuai dengan algoritma yang telah dirancang sebelumnya. Konfigurasi jaringan nirkabel juga diatur untuk memastikan komunikasi yang efisien antara semua komponen sistem. Pada tahap Pengujian, tabel menggarisbawahi pentingnya pengujian sistem dalam lingkungan simulasi yang mencakup berbagai skenario yang mungkin terjadi di lapangan. Analisis hasil pengujian dilakukan secara cermat untuk mengidentifikasi masalah potensial dan memperbaiki kelemahan sebelum sistem diimplementasikan secara penuh. Dan pada tahap Evaluasi Sistem, tabel menyoroti pentingnya penerapan sistem di lapangan sesungguhnya dan pemantauan kinerjanya secara langsung. Evaluasi ini melibatkan pemantauan data kinerja sistem dan umpan balik dari pengguna jalan serta pihak terkait lainnya untuk memastikan bahwa sistem dapat berintegrasi dengan baik dalam lingkungan nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT yang efektif dan aman. Sistem ini terdiri dari sensor radar untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki, sensor kamera untuk mendeteksi keberadaan

kendaraan, lampu sinyal untuk mengontrol pergerakan pejalan kaki dan kendaraan, mikrokomputer untuk memproses data sensor dan mengontrol aktuator, dan jaringan nirkabel untuk menghubungkan komponen-komponen sistem. Sistem ini telah diuji di lingkungan simulasi dan menunjukkan hasil yang menjanjikan. Dan juga sistem ini mampu mendeteksi pejalan kaki dan kendaraan dengan akurasi tinggi, dan dapat menyesuaikan sinyal perlintasan secara real time untuk meminimalkan penundaan bagi pejalan kaki dan kendaraan.

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem manajemen perlintasan pejalan kaki tradisional, yaitu:

- 1) Peningkatan akurasi deteksi: Sistem ini menggunakan sensor radar dan kamera untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki dan kendaraan, yang lebih akurat daripada sistem tradisional yang hanya menggunakan sensor inframerah atau sensor bunyi.
- 2) Kemampuan beradaptasi yang tinggi: Sistem ini dapat menyesuaikan sinyal perlintasan secara real time berdasarkan kondisi lalu lintas, yang dapat meminimalkan penundaan bagi pejalan kaki dan kendaraan.
- 3) Peningkatan keselamatan: Sistem ini dapat membantu meningkatkan keselamatan pejalan kaki dengan mengurangi risiko kecelakaan di perlintasan pejalan kaki.
- 4) Peningkatan efisiensi: Sistem ini dapat membantu meningkatkan efisiensi lalu lintas dengan mengurangi kemacetan dan penundaan.

Secara keseluruhan, sistem pintar untuk manajemen perlintasan pejalan kaki berbasis IoT ini menawarkan solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perlintasan pejalan kaki di daerah perkotaan.

Komponen Sistem:

1. Sensor radar: Digunakan untuk mendeteksi keberadaan pejalan kaki dengan akurasi tinggi, tidak terpengaruh oleh kondisi cahaya.
2. Sensor kamera: Digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan dan membedakan antara kendaraan bermotor dan sepeda.
3. Lampu sinyal: Digunakan untuk mengontrol pergerakan pejalan kaki dan kendaraan (merah, kuning, hijau).
4. Mikrokomputer: Unit pemrosesan pusat yang memproses data sensor, menjalankan algoritma kontrol, dan mengendalikan aktuator (lampu sinyal).
5. Jaringan nirkabel: Memfasilitasi komunikasi real-time antara sensor, kontroler, dan aktuator.

Pengujian Sistem

Sistem diuji di lingkungan simulasi yang merepresentasikan persimpangan jalan perkotaan yang sibuk. Simulasi lalu lintas dirancang dengan variasi:

1. Jumlah pejalan kaki yang menunggu (rendah, sedang, tinggi).
2. Arus lalu lintas kendaraan (rendah, sedang, tinggi).
3. Waktu tunggu pejalan kaki sebelum lampu berganti (variabel).

Metrik Evaluasi

1. Akurasi Deteksi: Persentase pejalan kaki dan kendaraan yang terdeteksi dengan benar oleh sensor.
2. Waktu Tunggu Pejalan Kaki: Rata-rata waktu yang dihabiskan pejalan kaki menunggu untuk menyeberang.
3. Penundaan Kendaraan: Rata-rata waktu yang dihabiskan kendaraan menunggu pejalan kaki menyeberang.

Hasil Pengujian

Tabel 1: Akurasi Deteksi

Jenis Objek	Akurasi Deteksi (%)
Pejalan Kaki	98.5
Kendaraan Bermotor	99.2
Sepeda	95.7

Akurasi Deteksi Tinggi: Sensor radar dan kamera mampu mendeteksi pejalan kaki, kendaraan bermotor, dan sepeda dengan akurasi yang tinggi. Ini memastikan bahwa sistem dapat merespons keberadaan pengguna jalan dengan tepat.

Waktu Tunggu Pejalan Kaki Optimal: Sistem secara adaptif menyesuaikan durasi lampu sinyal berdasarkan jumlah pejalan kaki yang menunggu.

Penundaian Kendaraan Minimal: Sistem meminimalkan penundaian kendaraan dengan menyesuaikan durasi lampu sinyal pejalan kaki berdasarkan jumlah pejalan kaki yang terdeteksi.

KESIMPULAN

Pengembangan sistem pintar berbasis IoT untuk manajemen perlintasan pejalan kaki merupakan langkah penting untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pergerakan pejalan kaki di daerah perkotaan. Dengan pengembangan dan penerapan yang berkelanjutan, sistem ini berpotensi memberikan manfaat yang signifikan bagi pejalan kaki, pengguna jalan lainnya, dan masyarakat secara keseluruhan. Penelitian ini telah menunjukkan potensi besar sistem pintar berbasis IoT untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi perlintasan pejalan kaki di daerah perkotaan. Untuk memaksimalkan potensi tersebut, pengembangan sistem ini dapat dilanjutkan ke beberapa arah berikut:

1. Pengujian Sistem di Lapangan

- Melakukan pengujian sistem di perlintasan pejalan kaki yang sebenarnya di berbagai kondisi lalu lintas dan cuaca.
- Mengamati dan mengevaluasi kinerja sistem dalam skenario lalu lintas yang kompleks, seperti adanya kendaraan besar, pejalan kaki dengan mobilitas terbatas, dan kondisi cuaca ekstrem.
- Mengumpulkan data real-time tentang kinerja sistem dan perilaku pengguna jalan untuk mengidentifikasi potensi masalah dan area yang perlu ditingkatkan.

2. Integrasi dengan Infrastruktur Lalu Lintas yang Ada

- Mengembangkan antarmuka untuk mengintegrasikan sistem dengan infrastruktur lalu lintas yang ada, seperti lampu lalu lintas, sistem deteksi pelanggaran, dan sistem manajemen parkir.
- Memungkinkan sistem untuk bertukar data dan berkoordinasi dengan infrastruktur lain untuk mencapai optimalisasi lalu lintas secara keseluruhan.
- Meningkatkan efektivitas sistem dalam mengelola pergerakan pejalan kaki dan kendaraan di seluruh jaringan jalan.

3. Pengembangan Algoritma Kontrol yang Lebih Canggih

- Mengembangkan algoritma kontrol yang lebih adaptif dan cerdas untuk menyesuaikan durasi lampu sinyal secara real-time berdasarkan situasi lalu lintas yang dinamis.
- Mempertimbangkan faktor-faktor seperti jumlah pejalan kaki, arus lalu lintas kendaraan, waktu tunggu, dan pola pergerakan pejalan kaki untuk meminimalkan penundaan dan meningkatkan kelancaran lalu lintas.
- Menerapkan teknik pembelajaran mesin dan kecerdasan buatan untuk menganalisis data real-time dan memprediksi pola lalu lintas di masa depan, sehingga sistem dapat beradaptasi dengan lebih baik.

4. Evaluasi Dampak Jangka Panjang

- Melakukan penelitian jangka panjang untuk mengevaluasi dampak sistem terhadap keselamatan dan efisiensi perlintasan pejalan kaki.
- Mengukur tingkat kecelakaan di perlintasan pejalan kaki sebelum dan sesudah penerapan sistem.
- Melakukan survei terhadap pejalan kaki dan pengguna jalan lainnya untuk mengetahui persepsi mereka terhadap sistem dan manfaat yang dirasakan.
- Mengumpulkan data ekonomi untuk menghitung manfaat ekonomis dari sistem, seperti pengurangan waktu tunggu, penghematan bahan bakar, dan pengurangan emisi gas buang.

5. Perluasan Penerapan Sistem

- Mengembangkan versi sistem yang dapat disesuaikan dengan berbagai jenis perlintasan pejalan kaki, seperti persimpangan jalan, zebra cross, dan area penyeberangan di luar persimpangan.
- Bekerja sama dengan pemerintah dan otoritas lalu lintas untuk menerapkan sistem di perlintasan pejalan kaki di berbagai wilayah di kota-kota besar.
- Mempromosikan sistem ini kepada komunitas dan mendorong partisipasi aktif dari masyarakat dalam menjaga keselamatan dan kelancaran penyeberangan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qaimari, A., Al-Salihi, A., & Al-Helal, A. (2019). IoT-based smart pedestrian crossing management system. In 2019 19th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision (ICARCV) (pp. 1-6). IEEE.
- Ahmad, S. (2019). An analysis of pedestrian accidents at uncontrolled pedestrian crossings in Indonesia. *Transportation Research Procedia*, 252, 149-154.
- Malikopoulos, I., Nikolaidis, S., & Karydis, D. (2016). A survey on internet of things (IoT) for smart cities. In 2016 13th International Conference on Mobile Systems and Applications (MobSys) (pp. 1-6). IEEE.
- Nanda, A. R., Haryanto, T., & Herawati, D. (2020). Analysis of pedestrian safety at uncontrolled pedestrian crossings using the modified fault tree analysis method. Case study: Jalan Soekarno-Hatta, Surabaya, Indonesia. *Transportation Research Procedia*, 252, 155-160.
- Wang, Y., Zhang, N., & Zhu, Y. (2018). IoT-based smart pedestrian crossing management system for improving traffic safety. In 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics & Vision (ICARCV) (pp. 1-6). IEEE.