

Загальні питання

УДК 621.396

Г.В. Альошин¹, О.В. Коломійцев², В.В. Посохов³

¹ Українська державна академія залізничного транспорту, Харків

² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

³ Національна академія національної гвардії України, Харків

ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ВУЛИЦЬ МІСТА

Запропоновано метод підвищення якості системи моніторингу транспортних засобів (ТЗ) і потоків для автоматизованої системи управління, яка здатна підвищити пропускну спроможність вулиць міста. Метод дозволяє здійснювати моніторинг параметрів руху ТЗ з будь-якого місця у складних дорожніх умовах, де дороги непрямі. Розроблено структурну схему пристрою для моніторингу транспортних потоків. Викладено принцип дії та застосування пристрою, який використовує доплерівський вимірювач радіальної швидкості ТЗ та принципово новий вимірювач тангенціальної швидкості. Пристрій випромінює два лазерних сигнали на несучих частотах, що «підкрашені» частотами міжмодових биттів, які у фотоприймачі перетворюються два радіосигнали, різниця довжини яких і дозволяє визначити тангенціальну швидкість одиночних та групових кластерів ТЗ.

Ключові слова: моніторинг транспортного потоку, транспортний засіб, пропускну спроможність.

Вступ

Постановка проблеми. Автомобільні перевезення являє собою велику ланку транспортного процесу практично на всіх видах транспорту. Широкий спектр впливу на всі сфери людської діяльності та на розвиток суспільства в цілому ставить багатопланові вимоги до забезпечення адекватного функціонування системи дорожнього руху (ДР), що є складною динамічною системою взаємодії транспортних і пішохідних потоків, сукупності чотирьох її складових частин: водій – автомобіль – дорога – середовище [1–5].

Збільшення інтенсивності руху транспорту, зміна структури та швидкісних режимів транспортних потоків пред'являють усе більш жорсткі вимоги до засобів керування й організації руху для забезпечення необхідного рівня ефективності і безпеки ДР. Забезпечення зручності та комфорту транспортного процесу на вулично-дорожній мережі (перехресті міста), можливо за допомогою постійної і цілеспрямованої діяльності по плануванню та оснащенню технічними засобами організації ДР.

Таким чином, розробка методу моніторингу ТЗ з метою раціоналізації управління транспортними потоками для підвищення пропускну спроможності вулиць міста є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз літератури. Аналіз існуючих робіт [1–6], які присвячені питанням підвищення пропускну спроможності проїжджої частини вулиці на перехресті міста, а також сучасний досвід розвинутих країн світу показує, що недостатньо побудувати дороги за сучасними технологіями, необхідно здійснювати на них постійну цілеспрямовану діяльність з

планування та оснащення спеціальними технічними пристроями організації дорожнього руху й оперативному керуванню ДР.

Мета статті. Розробка методу підвищення якості моніторингу ТЗ з метою підвищення пропускну спроможності вулиць міста для подальшої раціоналізації управління транспортними потоками.

Основний матеріал

Бурхливе зростання автомобілізації в нашій країні поставило перед суспільством ряд суттєвих проблем, з яких найбільш суттєвим наслідком є зниження пропускну спроможності доріг та, з другого боку, підвищення частоти ДТП. Тому для їх подолання, потрібен системний підхід для забезпечення якісного функціонування галузі організації ДР [1–6].

Одним з суттєвих рішень цих проблем є створення такого універсального засобу моніторингу, який би комплексно вимірював радіальну та тангенціальну швидкість ТЗ у будь-яких умовах та попереджав би про небезпеку водіїв, ТЗ та дорожні органи.

Ці функціональні можливості можливо здобути за рахунок використання ефекту зміни тривалостей відбитого від ТЗ сигналів в залежності від розмірів та направленості відносної швидкості ТЗ і лазерних променів пристрою, що використовує частотно-часовий метод (ЧЧМ) вимірювань [6].

Цей метод зветься частотним тому, що селекція подовжніх мод дозволяє поділити (селектувати) всі вимірювальні канали та рухомі промені за ознакою частоти міжмодових биттів. Часовим він зветься тому, що відтворюється у часі рівномірне у часі та за кутом азимуту фактично еталонне сканування діаграм спря-

мованості (ДС) лазерного випромінювання (ЛВ) на ТЗ у протилежних напрямках. Водії та безпілотні ТЗ отримують інформацію про швидкості безпосередньо із заданого фотоприймача або відбите ЛВ для об'єктивного контролю ззаду. Два ЛВ «підкрашуються» різними частотами міжмодових биттів. Зсув биттів сигналізує про кути, а різниця їх тривалостей – про кутову (азимутальну) швидкість ТЗ. При цьому для підтримки постійності швидкості сканування апертури ДС ЛВ на заданій відстані вводиться необхідне для моніторингу вимірювання відстані. Для отримання нових корисних функцій – вимірювання повного розміру швидкості продовж будь-якої конфігурації дороги – додатково вводиться вимірювання радіальної швидкості та розрахунок повної швидкості ТЗ і кута азимуту. Вимірювання та розрахунки виконуються у цифровому вигляді, що допускає гнучкість програм.

Для вимірювання відстані та радіальної швидкості ТЗ є практично єдині варіанти методів, що запропоновані. Для вимірювання тангенціальної швидкості ТЗ потрібна оцінка відстані для регулювання діапазону розходження ЛВ для того, щоб була стабільною при заданому періоду сканування тангенціальна швидкість ДС ЛВ на цій відстані, де є ТЗ або потік.

Між сукупністю істотних ознак, що перераховані вище та за викладеним матеріалом існує наступний причинно-наслідковий зв'язок:

– наявність каналу вимірювання відстані до ТЗ на основі нового методу її вимірювання потрібна для моніторингу та для точного регулювання діапазону розходження ДС ЛВ, що взагалі робить можливою реалізацію ЧЧМ вимірювання;

– наявність каналу вимірювання радіальної швидкості ТЗ підвищеної ефективності за рахунок подвійного перетворення частоти моди, що призводить, крім відповідної оцінки, до підвищення на два три порядки відношення сигнал/шум, а, значить, і точності, а також призводить до отримання нової суттєвої якості методу, що пропонується – можливості роботи поза дорогою практично при будь-якому ракурсі;

– нові умови використання ЧЧМ вимірювання дозволяють спростити структуру вимірювання часу відбиття ЛВ зі своїми модами і спростити метод оцінки тангенціальної швидкості ТЗ.

На рис. 1 приведена структурна схема пристрою для моніторингу транспортних потоків.

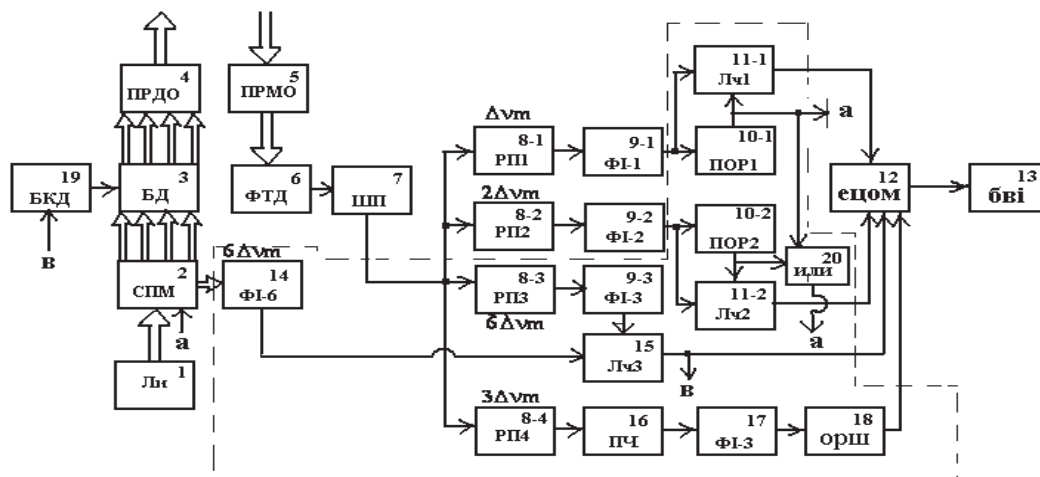


Рис. 1. Структурна схема пристрою для моніторингу транспортних потоків

На рис. 1 зображено: лазер з накачкою 1, селектор подовжніх мод 2 (зі входом «а» для включення випромінювання сигналу зондування відстані на моді $6\Delta\nu_m$ по сигналу виявлення відбиття ЛВ $\Delta\nu_m$ від ТЗ), блок дефлекторів 3 (для зустрічного сканування двох променів, підкрашених своїми модами), передавальна оптика 4, приймальна оптика 5, фотодетектор 6, широкопasmовий підсилювач 7, резонансні підсилювачі 8-1, 8-2 своїх мод (що належать каналам променів, що рухаються), каналу відстані 8-3 і каналу радіальної швидкості 8-4, формувачі імпульсів променів 9-1, 9-2, формувач імпульсу 9-3 приходу сигналів відстані, порогові схеми 10-1 та 10-2 (каналів променів), лічильники часу відбиття променів 11-1 та 11-2, електронна цифрова обчислюва-

льна машина (ЕЦОМ) 12, блок відображення інформації 13, формувач імпульсу 14 (запуску рахування лічильника відстані), лічильник імпульсів відстані 15, подвійний перетворювач частоти 16, формувач імпульсів 17 (для рахунку частоти доплеру з підставкою), обчислювач радіальної швидкості 18, блок керування дефлекторами 19 (зі входом «в» сигналу діапазону сканування променів).

Послідовно підключені лазер з накачкою 1, селектор подовжніх мод 2, блок дефлекторів 3, передавальну оптику 4, приймальну оптику 5, фотодетектор 6, широкопasmовий підсилювач 7, резонансні підсилювачі 8-1, 8-2 (двох каналів променів), формувачі імпульсів 9-1, 9-2, лічильники імпульсів 11-1, 11-2 (мод променів), ЕЦОМ 12 та блок відображен-

ня інформації 13; порогові пристрої 10-1, 10-2 підключені з виходів формувачів імпульсів 8-1, 8-2 (каналів променів) до входів лічильників імпульсів 11-1, 11-2 (мод каналів променів) та до входу «в» блоку керування діапазону дефлекторів 19; канал вимірювання відстані, що вміщує послідовно підключені з виходу селектора подовжніх мод 2 формувач імпульсів з моди відстані 14, лічильник імпульсів відстані 15 і ЕЦОМ 12, а також послідовно підключені з виходу ширококутового підсилювача 7 резонансний підсилювач 8-3 (моди відстані), формувач імпульсів відстані 9-3 і лічильник імпульсів відстані 15; доплерівській канал вимірювання радіальної швидкості, що вміщує послідовно підключені з виходу ширококутового підсилювача 7 резонансний підсилювач 8-4 (моди швидкості), двократний перетворювач частоти 16, формувач імпульсів радіальної швидкості 17, пристрій обчислювання радіальної швидкості 18 і ЕЦОМ 12.

Принцип дії пристрою для моніторингу транспортних потоків полягає у наступному.

Запропонований пристрій націлюється на видимий ТЗ і натискається кнопка включення.

На виході передавальної оптики 4 випромінюються моди $\Delta\nu$, $2\Delta\nu$ променів та вимірювача радіальної швидкості $3\Delta\nu$ одночасно (рис. 2, а), крім моди відстані $6\Delta\nu$.

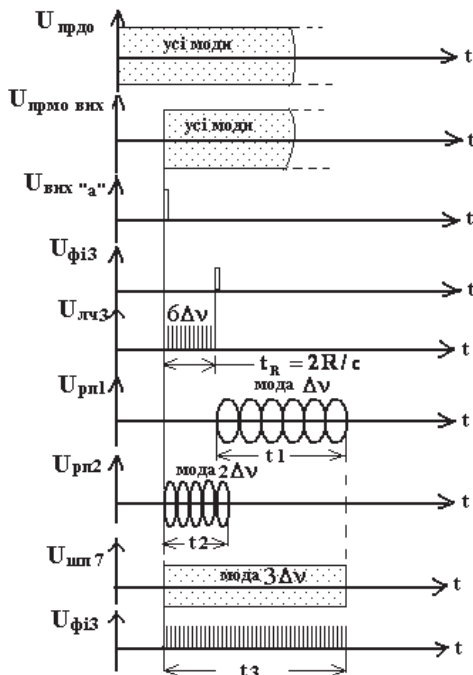


Рис. 2. Епюри напруг з виходів блоків пристрою

Отриманий відбитий від ТЗ сигнал першої ДС ЛВ запізнюється (рис. 2, б) на час розповсюдження:

$$t_3 = 2R / C, \quad (1)$$

де R – відстань до ТЗ; C – швидкість розповсюдження світла.

Виявлення сигналу ЛВ відбувається спочатку у пороговому пристрої 10-1, з виходу якого на селектор подовжніх мод 2 поступає сигнал «а» (рис. 2, в) для підключення випромінювання моди відстані $6\Delta\nu$, формування імпульсів цієї ж частоти у блоці формування імпульсів 14 і для рахунку імпульсів (рис. 2, д) лічильником імпульсів відстані 15.

Затримка моди відстані завжди менше ніж тривалість відбиття ЛВ від ТЗ. Тому мода відстані раніше приймається приймальною оптикою 5 і фотодетектором 6, підсилюється ширококутовим підсилювачем 7, підсилюється своїм резонансним підсилювачем 8-3, далі формувач імпульсів 9-3 виробляє імпульс закриття (рис. 2 г, д) лічильника відстані 15 і видає у цифровому вигляді відстань у ЕЦОМ 12 та на блок керування дефлекторами 19 регулювання діапазону (кута) розкриття у повторному циклі дефлекторів блоку 3.

Перша ДС ЛВ, згідно рис. 3, рухається на зустріч ТЗ, тому час відбиття ЛВ менше (рис. 2, ж), ніж у другій ДС ЛВ (рис. 2, є).

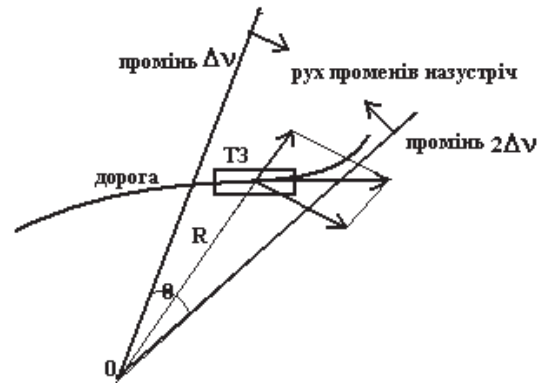


Рис. 3. Рух променів (ДС ЛВ)

Час відбиття ЛВ t_1, t_2 (рис. 2 є, ж), якщо його вимірювати, дозволяє знайти тангенціальну швидкість ТЗ з рівнянь:

$$t_1 = l_\tau / (v_{np} - v_\tau), \quad t_2 = l_\tau / (v_{np} + v_\tau), \quad (2)$$

де v_{np} , v_τ – відповідно лінійна тангенціальна швидкість ДС ЛВ (відбиття ЛВ) та тангенціальна швидкість ТЗ; l_τ – тангенціальний шлях ДС ЛВ впродовж Міделєва січення ТЗ.

Систему рівнянь можна перетворити у наступному вигляді:

$$v_\tau = v_{np} \left(1 - \frac{T_{ТЗ}}{t_1} \right); \quad v_\tau = v_{np} \left(\frac{T_{ТЗ}}{t_2} - 1 \right), \quad (3)$$

причому:

$$v_{np} = \frac{l_\tau}{T_{ТЗ}} = \frac{l_0}{T} = \frac{R\theta}{T}, \quad (4)$$

де l_0, T – відповідно довжина загального шляху ДС ЛВ на цієї відстані та час циклу руху ДС ЛВ; $T_{ТЗ}$ – час проходження ДС ЛВ по довжині ТЗ; R, θ – відповідно відстань та допустимий кут руху променів.

З рівнянь (3) можна отримати вираз для визначення часу проходження ДС ЛВ по довженні ТЗ:

$$T_{T3} = \frac{2t_1 t_2}{t_1 + t_2}. \quad (5)$$

Оскільки тангенціальна лінійна швидкість ДС ЛВ повинна бути заданою і постійною у циклі їх руху, то згідно співвідношенню (4) треба вимірювати відстань R та розрахувати потрібну кутову швидкість θ/T .

Тобто, у скільки разів збільшилася відстань R , у стільки разів треба зменшити кутову швидкість θ/T , або збільшити час сканування. Або при заданому часі сканування зменшити кут розкриття ДС ЛВ. Практичніше за результатом вимірювання відстані визначити розмах пилкообразної напруги дефлектору 2 у блоці керування дефлекторами 19 (вхід «в» рис. 1).

Значення $v_{пр}$ краще вибирати на 30% більшим максимальної швидкості ТЗ.

Коли вимірювана радіальна швидкість, повна швидкість визначається за теоремою Піфагора.

Тангенціальний (видимий) розмір ТЗ, або міделєво січення, можна визначити за допомогою формули (5):

$$l_r = v_{пр} T_{T3}. \quad (6)$$

Кут падіння лінії прицілювання (середини між ДС ЛВ) визначається за допомогою значень радіальної і тангенціальної швидкостей ТЗ.

Повний розмір ТЗ знаходиться за зв'язними значеннями тангенціального розміру та кута падіння лінії прицілювання (рис. 3).

Висновки

Таким чином, перевагами методу та викладеного пристрою моніторингу є універсальність задач,

що вирішуються та умов використання, а також суттєве підвищення ефективності моніторингу.

Недоліки – складність, яка звичайно оправдується серійністю та значною ефективністю.

Пристрій для моніторингу транспортних потоків може бути використаний для оперативних і точних вимірювань вектору параметрів руху ТЗ у складних дорожніх умовах, де дороги непрямі, або там де одночасно потребується вимірювання вектору параметрів руху транспортних засобів та потоків.

Список літератури

1. Аксенов В.А. Экономическая эффективность рациональной организации дорожного движения / В.А. Аксенов, Е.П. Попова, О.А. Дивочкин. – М.: Транспорт, 1987. – 128 с.
2. Булавина Л.В. Розрахунок пропускної здатності магістралей і вузлів / Л.В. Булавина. – Єкатеренбург: ДНЗ ВПО УДТУ, 2009. – 44 с.
3. Лобашов А.О. О прогнозировании скорости транспортных потоков на городских улицах / А.О. Лобашов // Вестник ХГАДТУ. – Х.: ХГАДТУ, 1999. – С. 91-93.
4. Полищук В.П. Інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху: навч. посіб. / В.П. Полищук, Н.Т. Кунда. – К.: ІЗМН, 1998. – 132 с.
5. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения / Хомяк Я.В. – К.: Вища школа, 1986. – 271 с.
6. Ярута А.М. Удосконалення автоматизованої системи керування дорожнім рухом: дис. ... канд. техн. наук. – ХНАДУ, 2016.
7. Патент на корисну модель № 55645, Україна, МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату / О.В. Коломійцев. – № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 14 с.
8. Патент на корисну модель № 62015, Україна, МПК G08G 1/052, G01S 11/00, G01S 17/42. Пристрій для вимірювання параметрів транспортних засобів / Г.В. Альошин, А.І. Левтеров, О.В. Коломійцев – № u201100247; заяв. 10.01.2011; опубл. 10.08.2011; Бюл. № 15. – 8 с.

Надійшла до редколегії 22.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УЛИЦ ГОРОДА

Г.В. Альошин, А.В. Коломійцев, В.В. Посохов

Предложен метод повышения качества системы мониторинга транспортных средств (ТС) и потоков для автоматизированной системы управления, которая способна повысить пропускную способность улиц города. Метод позволяет осуществлять мониторинг параметров движения ТС с любого места в сложных дорожных условиях, где дороги непрямы. Разработана структурная схема устройства для мониторинга транспортных потоков. Изложен принцип действия и применение устройства, которое использует доплеровский измеритель радиальной скорости ТС и принципиально новый измеритель тангенциальной скорости. Устройство излучает два лазерных сигнала на несущих частотах, которые «подкрашены» частотами межмодовых биений, которые в фотоприемнике превращаются два радиосигнала, разница длин которых и позволяет определить тангенциальную скорость одиночных и групповых кластеров ТС.

Ключевые слова: мониторинг транспортного потока, транспортное средство, пропускная способность.

INCREASE OF CARRYING CAPACITY OF STREETS CITIES

G.V. Aleshin, O.V. Kolomyeyev, V.V. Posokhov

The method of upgrading of the system of monitoring of transport vehicles (TV) and streams is offered for CAS of management, that is able to promote the carrying capacity of streets of city. A method allows to carry out monitoring of parameters of motion TV from any place in difficult travelling terms, where roads unlines. The flow diagram of device is worked out for monitoring of transport streams. Principle of action and application of device that uses the Doppler measuring device of radial speed and fundamentally new measuring device of tangential speed TV are expounded. A device radiates two laser signals on bearing frequencies, that is «tinted» by frequencies of the between frequencies beatings, that in a photo is a receiver transform two radio signals, difference of length of that and allows to define tangential speed of single and group clusters of TV.

Keywords: monitoring of a transport stream, transport vehicle, carrying capacity.