

Березівський М.Ю., Зінченко О.В., Звенігородський О.С., Резник С.Ю., Іваніченко Є.В.
Державний університет телекомунікацій, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕРЕЖ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація. Одним з найважливіших компонентів Інтелектуальних транспортних систем (ІТС) є автомобільна мережа VANET (Vehicular Ad Hoc Network), вузли якої представлені самими транспортними засобами за встановленими спеціалізованими модулями зв'язку. Першочерговою метою даного різновиду мереж є оповіщення учасників дорожнього руху про виникнення нештатних ситуацій. VANET є частиною концепції ІТС, що виконує роль формування високодинамічної мережевої структури, яка самоорганізується для передачі інформації про дорожній трафік і інциденти. Мережі VANET є відправною точкою для побудови повномасштабної ІТС, оскільки вони можуть функціонувати разом як з інфраструктурними станціями, так і ізольовано. Висока вартість розгортання інфраструктурної частини ІТС додатково підкреслює вагомість мереж VANET у складі загальної комплексної системи

Мережі VANET володіють рядом особливостей, такими як висока швидкість руху транспортного засобу, висока щільність вузлів, мінливість структури та складу мереж, найчастіше кластеризація на ізольовані ділянки. Все це накладає особливі вимоги на режими і параметри функціонування мережі. Так, ключовими вимогою є мінімізація затримок для передачі повідомлень від програм безпеки дорожнього руху і підтримання високого рівня зв'язності мережі.

Для мереж VANET була розроблена велика кількість протоколів маршрутизації, які можна класифікувати за різними критеріями, таким як характеристики протоколу, метод маршрутизації інформації, якість обслуговування, мережева архітектура та іншими критеріями.

В роботі розглянути особливості спеціалізованих мереж автомобільного транспорту та особливості маршрутизації в цих мережах. Запропонована модифікація протоколу маршрутизації, яка адаптує протокол FSR для роботи в мережах VANET. Проведені експериментальні дослідження ефективності роботи запропонованого протоколу. Протокол FSRM дозволяє отримати значення якості обслуговування до 48% кращі для критерію максимального середнього часу доставки.

Ключові слова: мережі автомобільного транспорту, VANET, протоколи маршрутизації, імітаційне моделювання.

Berezivskiy M.Yu., Zinchenko O.V., Zvenigorodsky A.S., Reznik S.Yu., Ivanichenko E.V.
State University of Telecommunications, Kyiv

RESEARCH OF EFFICIENCY INDICATORS OF ROAD TRANSPORT NETWORKS

Abstract. One of the most important components of Intelligent Transport Systems (ITS) is the car network VANET (Vehicular Ad Hoc Network), the nodes of which are represented by the vehicles themselves on the installed specialized communication modules. The primary purpose of this type of network is to alert road users to emergencies. VANET is part of the ITS concept, which plays the role of forming a highly dynamic network structure, which is self-organizing to transmit information about traffic and incidents. VANETs are the starting point for building a full-scale ITS, as they can operate together with both infrastructure stations and in isolation. The high cost of deploying the infrastructure part of ITS further emphasizes the importance of VANET networks as part of a common integrated system

VANET networks have a number of features, such as high vehicle speed, high node density, variability in the structure and composition of networks, most often clustering into isolated areas. All this imposes special requirements on the modes and parameters of the network. Thus, the key requirement is to minimize delays for the transmission of messages from road safety programs and maintain a high level of network connectivity.

A large number of routing protocols have been developed for VANET networks, which can be classified according to various criteria, such as protocol characteristics, information routing method, quality of service, network architecture and other criteria.

The paper considers the features of specialized road transport networks and the features of routing in these networks. A modification of the routing protocol is proposed, which adapts the FSR protocol to work in VANET networks. Experimental studies of the effectiveness of the proposed protocol. The FSRM protocol allows you to get service quality values up to 48% better for the criterion of maximum average delivery time.

Keywords: road transport networks, VANET, routing protocols, simulation.

Березовский М.Ю., Зинченко О.В., Звенигородский А.С., Резник С.Ю., Иваниченко Е.В.
Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. Одним из важнейших компонентов интеллектуальных транспортных систем, (ИТС) является автомобильная сеть VANET (Vehicular Ad Hoc Network). Узлы данной сети представлены самими транспортными средствами по установленным специализированным модулям связи. Первоочередной целью данного вида сетей является оповещение участников дорожного движения о возникновении нештатных ситуаций. VANET является частью концепции ИТС, выполняющая роль формирования высокодинамической сетевой структуры, которая самоорганизуется для передачи информации о дорожном трафике. Сети VANET являются отправной точкой для построения полномасштабной ИТС, поскольку они могут функционировать вместе как с инфраструктурными станциями, так и изолированно. Высокая стоимость развертывания инфраструктурной части ИТС дополнительно подчеркивает значимость сетей VANET в составе общей комплексной системы

Сети VANET обладают рядом особенностей, например, как высокая скорость движения транспортного средства, высокая плотность узлов, изменчивость структуры и состава сетей, чаще всего кластеризация на изолированные участки. Все это накладывает особые требования на режимы и параметры функционирования сети. Так, ключевыми требованием является минимизации задержек для передачи сообщений от программ безопасности дорожного движения и поддержания высокого уровня связности сети.

Для сетей VANET была разработана большое количество протоколов маршрутизации, которые можно классифицировать по различным критериям, таким как характеристики протокола, метод маршрутизации информации, качество обслуживания, сетевая архитектура и другим критериям.

В работе рассмотрены особенности специализированных сетей автомобильного транспорта и особенности маршрутизации в этих сетях. Предложенная модификация протокола маршрутизации, которая адаптирует протокол FSR для работы в сетях VANET. Проведенные экспериментальные исследования эффективности работы предлагаемого протокола. Протокол FSRM позволяет получить значение качеству обслуживания до 48% лучшие для критерия максимального среднего времени доставки.

Ключевые слова: сети автомобильного транспорта, VANET, протоколы маршрутизации, имитационное моделирование.

Вступ. Сьогодення характеризується різким зростанням кількості інформації, появою нових інформаційних технологій обробки, збереження та передачі інформації. З'являються нові послуги та абонентські пристрої, що формують концепцію Smart city. Однією з особливостей функціонування Smart city є підтримка безпілотних авто, розумна логістика, зв'язок з системами глобального позиціонування для моніторингу технічного стану автотранспорту та інтелектуальний аналіз даних.

Розвиток сучасного автотранспорту вже немислимий без застосування Інтелектуальних Транспортних систем (ІТС), початковим завданням яких була організація інформаційного обміну між транспортними засобами (ТЗ), з метою забезпечення учасників дорожнього руху необхідною інформацією для запобігання дорожніх інцидентів. Рішення саме цієї задачі почали приділяти все більшу увагу в науковому співтоваристві починаючи з кінця ХХ століття.

На поточний момент концепція організації ІТС має досить чіткий, сформований характер, що виражається у прийнятті глобальних стандартів і специфікацій, що описують ключові моменти реалізації. Поширення сфери інформаційних технологій в область транспортних систем спричинила за собою народження нових прикладних завдань з розробки і реалізації сервісів для даного напрямку розвитку. Надання безперервних сервісів для користувачів ІТС пов'язане з необхідністю подолання низки труднощів, обумовлених специфікою високо динамічних, спеціалізованих бездротових мереж [1], якими є мережі VANET.

Сервіси додатків VANET вкрай чутливі до затримок, що вимагає застосування спеціальних підходів до їх реалізації.

Впровадження систем на основі спеціалізованої автомобільної мережі вимагає рішення безлічі питань, що належать до різних предметних областей. Спектр даних питань варіюється від економічних аспектів впровадження до методів і алгоритмів роботи розроблюваних додатків. У процесі вирішення цих питань, доводиться враховувати фундаментальні відмінності мереж VANET від інших, більш стабільних за своїми характеристиками мереж зв'язку з рухомими об'єктами.

Серед таких відмінностей варто виділити:

- стрімке зміна щільності і складу мережі, що призводить до частої зміни топології і сильної фрагментації;
- висока щільність вузлів, у сукупності з можливістю зміни рівня потужності сигналу, який передається, тягне за собою високий рівень інтерференції;
- низька передбачуваність мережевої структури у зв'язку з можливістю зміни складу мережі в якості реакції на ДТП.

Зазначені особливості мереж VANET викликають складності при реалізації пріоритетного сервісу, який полягає в надійному і своєчасного інформування учасників дорожнього руху про небезпеку.

Постановка проблеми. Одним з основних факторів, що впливають на ефективність протоколу маршрутизації, є спосіб поширення та оновлення інформації про вузли та каналах зв'язку між ними.

У класичних мережах, що використовують широкосмугові канали передачі, маршрутна інформація оновлюється кожного разу, коли відбуваються зміни топології мережі. При цьому зазвичай використовується ширококомовна розсилка пакетів з оновленнями. Бездротові мережі складаються з великої кількості пристроїв і каналів зв'язку, причому можливості каналів зв'язку як правило досить обмежені.

Тому використання широкомовної розсилки інформації про оновлення неможливо, так як в цьому випадку службовий трафік буде переважати над корисним трафіком.

Для вирішення даної проблеми різними науковими школами було розроблено кілька рішень: TBRPF [2], FSR [3, 4], OLSR [5], HSLs [6]. Кожне з цих рішень дозволяє значно зменшити накладні витрати при доставці маршрутної інформації.

Протокол Fisheye State Routing (FSR) являє собою просте і ефективне рішення, засноване на алгоритмі з станами каналів. цей протокол передбачає зберігання топології мережі для кожного сенсора, а також поширення такої інформації. Головна відмінність такого рішення від класичного полягає в способі поширення маршрутної інформації. Вузли мережі обмінюються інформацією тільки з сусідами, замість того, щоб розсилати її широкомовно.

Таблиця станів каналів формується на основі інформації, отриманої від сусідів. Обмін інформацією про стан каналів відбувається періодично, а не при зміні топології, що виключає часте оновлення маршрутних таблиць, що відбувається в мережах з ненадійними каналами. Різні записи в таблиці маршрутизації розсилаються з різною частотою, залежно від відстані до відповідного вузла. Інформація про вузли, розташованих на великій відстані оновлюється рідше, ніж про тих, які розташовані ближче. В результаті значна частина записів не включається в пакет з маршрутною інформацією. FSR генерує адекватну інформацію про сусідніх вузлах, але не про віддалені. Однак чим ближче пакет до пункту призначення, тим точніше відомості для пошуку оптимального шляху.

Протокол OLSR (Optimized Link State Routing Protocol), як і всі протоколи подібного типу періодично обмінюється з іншими вузлами інформацією про топологію мережі. Цей протокол використовує технологію MPR (Multipoint Relays) для запобігання зайвих пересилань при широкомовної розсилки. Вузол, скажімо А, який використовує OLSR як протокол маршрутизації, формує список своїх безпосередніх «сусідів».

Далі, з кожного з сусідніх вузлів запитується інформація про його безпосередніх «сусідів». Після цього вузол А формує список вузлів, знаходяться від нього на відстані двох ретрансляцій, і формує серед безпосередніх «сусідів» мінімальний набір ретрансляторів (список MPR). Для формування списку MPR використовуються евристичні алгоритми. Кожен вузол розсилає своїм безпосереднім "сусідам" свій список MPR. Таким чином вузол А, отримуючи від своїх сусідів їх списки MPR, формує список селекторів MPR - список вузлів, які обрали А як MPR. Відмінності протоколу OLSR від класичних протоколів, використовують інформацію про стани каналів, обумовлюються двома особливостями. По-перше, тільки MPR вузли повинні ретранслювати маршрутну інформацію. По-друге, зменшується розмір пакета з інформацією про стан каналів, так як включається тільки інформація, отримана від MPR селектор. Протокол передбачає поширення часткової інформації про топологію мережі, тобто вузол А може бути досягнутий тільки через MPR селектори. OLSR знаходить найкоротший шлях, використовуючи інформацію про своїх сусідів і MPR всіх інших вузлів. OLSR призначений для мереж з великою щільністю. У разі сильно «розрідженої» мережі кожен сусідній вузол буде MPR. В цьому випадку OLSR перетворюється в «чистий» протокол, який використовує інформацію про станах каналів.

У зв'язку з використанням тільки MPR для поширення маршрутної інформації OLSR забезпечує порівняно погану продуктивність, так як деякі канали можуть не використовуватися. Цей протокол може формувати неоптимальний маршрут, що неминуче збільшить затримку при доставці пакетів. А через неможливість використання деяких каналів падає пропускна здатність мережі. Однак слід зазначити, що протокол забезпечує відносно стабільну роботу при частій зміні топології, швидко реагуючи на такі зміни з невеликими накладними витратами.

Протокол TBRPF (Topology Broadcast Based on reverse Path Forwarding) [2] - це також протокол, який використовує інформацію про стані каналів. Принципова відмінність від «чистого» протоколу такого типу полягає в способі розсилки інформації про стан каналів. TBRPF працює наступним чином: Нехай вузол S – джерело повідомлень про оновлення. Кожен вузол i в мережі вибирає свій наступний ретранслятор $ri(S)$ для передачі у напрямку до вузлу S . Цей ретранслятор буде предком для i по відношенню до S . Для вибору предка знаходиться шлях з мінімальною кількістю хопів. Таким чином для вузла S буде сформовано сполучна дерево. замість широкомовної розсилки, TBRPF відправляє інформацію про зміни стану каналів тільки вузлів сформованого дерева, так вузол i отримає інформацію від вузла-предка, і передасть її вузлу-нащадку. Листя дерева ці повідомлення не ретранслюють. При зміні топології мережі відповідні сполучні дерева негайно змінюються. Таким чином TBRPF швидше пристосовується до змін топології, виробляє менше накладних витрат, ніж «чистий» протокол зі станом каналів.

У всіх вказаних рішеннях для пошуку маршруту використовуватися один з класичних алгоритмів пошуку найкоротшого шляху.

Одним з рішень, що дозволяє розділити мережу на «зони видимості», є протокол FSR. Він дозволяє відмовитися від доставки маршрутної інформації до вузлів, які з великою ймовірністю в її не потребують. Протокол маршрутизації FSR [3, 4] розроблений Лабораторією бездротової адаптивної мобільності (WAM) [7] Каліфорнійського університету в Лос-Анджелесі і адаптованим до бездротового середовища. Він забезпечує неявну ієрархічну структуру маршрутизації. Завдяки оновленню інформації про стан каналу з різною частотою в залежності від відстані до області дії «риб'яче око». FSR добре масштабується і зберігає низькі накладні витрати без збитку для точності обчислення маршруту. Зберігаючи запис маршрутизації для кожного пункту призначення, FSR уникає додаткової роботи по «пошуку» пункту призначення (як при маршрутизації на вимогу) та, таким чином, підтримує низьку затримку передачі одиночних пакетів. У міру збільшення мобільності маршрути до віддалених пунктів призначення стають менш точними. Однак, коли пакет наближається до місця призначення, він знаходить все більш точні маршрути по мірі того, як входить в сектори з більш високою частотою оновлення. В результаті FSR більш є бажаним для великих мереж, де мобільність висока, а смуга пропускання мала.

Для зменшення накладних витрат на оновлення маршрутизації в великих мережах, (FSR) для спеціальних мереж вводить поняття багаторівневої «області дії». Вузол зберігає стан каналу для кожного пункту призначення в мережі. Він періодично передає в широкомовному режимі оновлення стану каналу призначення своїм сусідам з частотою, яка залежить від відстані до цього пункту призначення (тобто «області дії» щодо цього пункту призначення). Оновлення стану, відповідним віддаленим пунктам призначення, поширюються з меншою частотою, ніж поновлення для близьких пунктів призначення. На основі оновлень стану вузли створюють карту топології всієї мережі і обчислюють ефективні маршрути.

FSR нагадує маршрутизацію станом каналу в тому, що він поширює поновлення за станом каналу. Однак поновлення поширюються як агрегати, періодично (з періодом, що залежать від відстані), а не розсилаються окремо з кожного джерела. Це збільшує масштабованість великих мобільних однорангових мереж і зменшує накладні витрати.

Для мереж автомобільного транспорту пропонується модифікувати протокол FSR. Модифікований протокол, назвемо його FSRM (Fisheye State Routing Modified), буде використовувати власний алгоритм визначення областей видимості. Сутність модифікації полягає в наступному.

Кожен вузол OBU_i формує дві таблиці і один список:

- список сусідів $neighbou_i$;
- таблиця топології $topology_i$;
- таблиця найближчих ретрансляторів $repeater_i$.

У списку сусідів $neighbou_i$ зберігається інформація про безпосередніх «сусідів» вузла OBU_i . Для кожного вузла OBU_i міститься запис в таблиці $topology_i$. Кожен запис ділиться на дві частини: $topology.chan_j$ та $topology.time_j$. $topology.chan_j$ містить інформацію про стан каналів, отриману від вузла OBU_j а $topology.time_j$ містить час генерації інформації про стан каналів вузлом OBU_j .

На відміну від протоколу FSR, де таблиця $NEXT_i(j)$ містить найближчі ретранслятори для всіх вузлів, пропонується протокол зберігати в таблиці $NEXT_i(p)$ інформацію про найближчий ретранслятор до базової станції (RSU) для пакета з внутрішнім пріоритетом p .

У разі використання класичного алгоритму пошуку найкоротшого шляху в цій таблиці міститься всього один запис, так як в цьому випадку поняття пріоритету відсутня. Пропонується протокол використовувати наступний принцип визначення областей видимості: Для кожного вузла визначається зоновий коефіцієнт $k_i(j)$:

$$k_i(j) = H_j + H_{ij} - H_i,$$

де, H_j - мінімальна кількість ретрансляції (хопов) від вузла OBU_j до базової станції, H_{ij} - мінімальна кількість ретрансляцій від вузла OBU_i до OBU_j , H_i - мінімальна кількість ретрансляцій від вузла OBU_i до базової станції.

Відповідно до значення $k_i(j)$ для кожного вузла визначається його зона. Таких зон може бути декілька:

- вузли з $k_i(j) < h_1$ можна визначити в першу зону;
- вузли які знаходяться в інтервалі $h_1 < k_i(j) < h_2$ можна визначити в другу зону;
- інші вузли будуть належати до третьої зони.

Для кожної зони визначається період оновлення інформації про маршрути. Так, якщо інформація, про вузли з 1-ї зони поширюється з періодом T_1 , інформація 2-ї зони буде поширюватися з періодом T_2 , а 3-ї зони - T_3 . За умови, що $T_1 < T_2 < T_3$ інформація отримана від транспортного засобу якій знаходиться на більшій відстані від OBU буде оновлюватися достатньо рідко.

Для знаходження коефіцієнта $k_i(j)$ необхідно організувати допоміжну таблицю. У цій таблиці для кожного вузла j зберігається два значення H_j та H_{ij} . Значення для такої таблиці можуть бути отримані в процесі роботи як алгоритму Дейкстри, який використовується для пошуку оптимального шляху, так і за допомогою інших алгоритмів (Флойда-Уоршелла, Форда-Беллмана і т.д.).

Таким чином, кожен вузол OBU буде своєчасно отримувати інформацію про потенційних ретрансляторах для своїх пакетів, а несвоєчасне отримання інформації про інші вузли не матиме серйозного впливу на продуктивність мережі. При цьому буде досягнуто значне зменшення накладних витрат на доставку маршрутної інформації.

Результати дослідження. Для оцінки якості протоколів маршрутизації була розроблена і реалізована імітаційна модель мережі VANET. Для реалізації імітаційної моделі був обраний симулятор NS2. Детально оцінка ефективності запропонованого протоколу буде

розглянута в наступних роботах. Тут наведемо дослідження впливу щільності мережі VANET на продуктивність роботи протоколів маршрутизації.

Щільність мережі визначається як середня кількість "сусідів" для вузла мережі. Щоб змінити цю установку змінювалася площа території, на якій працює мережа VANET. Під час даного експерименту змінюється ще параметр - діаметр мережі. Результати експерименту представлені на рис. 1.

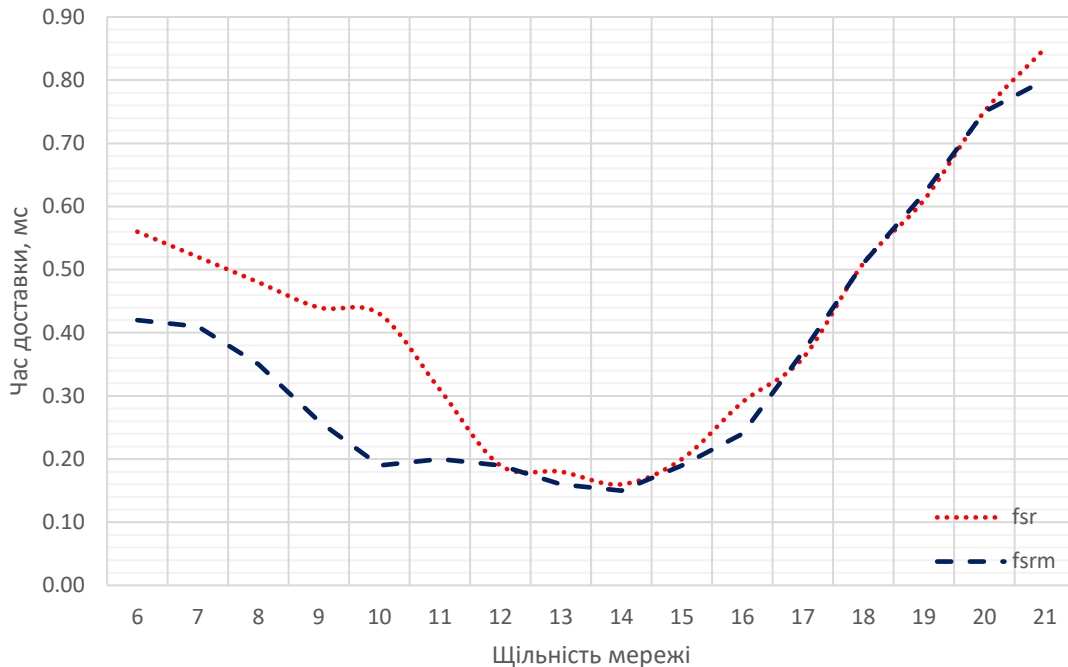


Рис.1. Вплив щільності мережі VANET на продуктивність роботи протоколів маршрутизації

В мережі VANET з високою щільністю протоколи маршрутизації можуть працювати більш ефективно, так як в цьому випадку використовується відносно невелика кількість проміжних вузлів-маршрутизаторів. Однак в таких мережах збільшується ймовірність виникнення колізій, що знижує ефективність роботи мережі. У мережах з високою щільністю протоколи маршрутизації показують приблизно однакові значення.

При зменшенні щільності мережі ймовірність колізії зменшується, проте зростає число ретрансляція через проміжні вузли.

Для мереж з невеликою щільністю велику роль грає обраний протокол маршрутизації.

В даному експерименті в якості базового розглядається протокол FSR. Протокол FSRM використовує більш ефективну схему попереджувального збору маршрутної інформації. Використовуваний метод, однак, більш ресурсомісткий за обсягом службового трафіку. Тому такий протокол більш ефективний в мережах з невеликою щільністю і великим діаметром, де ефективність попереджувального методу збору маршрутних даних зростає, а вплив накладних витрат зменшується у зв'язку із загальним зменшенням ймовірності виникнення колізій.

Висновки. В роботі розглянути особливості спеціалізованих мереж автомобільного транспорту, та особливості маршрутизації в цих мережах. Запропонована модифікація протоколу маршрутизації, яка адаптує протокол FSR для роботи в мережах VANET. Проведені експериментальні дослідження ефективності роботи пропонованого протоколу.

Протокол FSRM дозволяє отримати значення якості обслуговування до 48% кращі для критерію максимального середнього часу доставки.

Список використаної літератури

1. Джим Гейер Беспроводные сети. Первый шаг (Cisco) / Джим Гейер. - М.: Вильяме, 2005. – 192 с.
2. R. G. Ogier et al. "Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)" [draft-ietf-manet-tbrpf-05.txt]/ R. G. Ogier et al. // INTERNET DRAFT, MANET Working Group.
3. G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks", Proceedings of ICC 2000, New Orleans, LA, Jun. 2000.
4. G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, "Fisheye State Routing in Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing, Taipei, Taiwan, Apr. 2000.
5. P. Jacquet et al. "Optimized Link State Routing Protocol" [draft-ietfmanetolsr-05.txt] / IETF MANET. 2010.
6. Cesar A. Santivanez "Making link-state routing scale for ad hoc networks" / Cesar A. Santivanez, Ram Ramanathan, Ioannis Stavrakakis // Proceedings of 116 the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing. - 2001. – P. 22-32.
7. UCLA Wireless Adaptive Mobility (WAM) Laboratory.
<http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless>.

References

1. Jim Geyer (2005). "Wireless Networks. First Step (Cisco)" M.: Williams, 192 p.
2. R. G. Ogier et al. "Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF)" [draft-ietf-manet-tbrpf-05.txt]. INTERNET DRAFT, MANET Working Group.
3. G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, (2000) "Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks." *Proceedings of ICC 2000*, New Orleans, LA, Jun. 2000.
4. G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen, (2000) "Fisheye State Routing in Mobile Ad Hoc Networks," *Proceedings of Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing*, Taipei, Taiwan, Apr. 2000.
5. P. Jacquet et al. (2010) "Optimized Link State Routing Protocol" [draft-ietfmanetolsr-05.txt]. IETF MANET.
6. Cesar A. Santivanez, Ram Ramanathan, Ioannis Stavrakakis (2001) "Making link-state routing scale for ad hoc networks" *Proceedings of 116 the 2nd ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*. P: 22-32.
7. UCLA Wireless Adaptive Mobility (WAM) Laboratory.
<http://www.cs.ucla.edu/NRL/wireless>.