

Usmerjevalni protokoli v brezžičnih omrežjih med vozili

Gregor Ščavničar¹, Samo Vodopivec¹, prof. dr. Janez Bešter¹

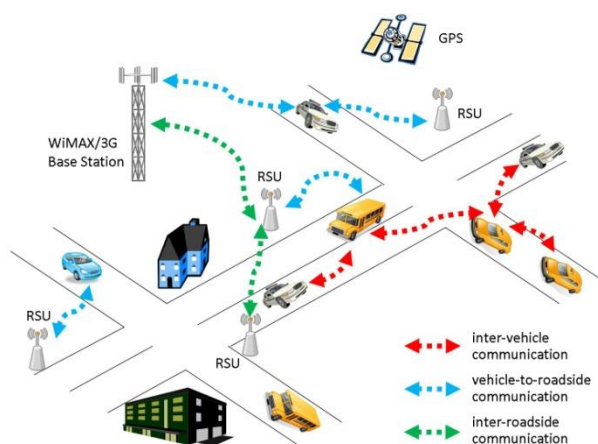
¹Fakulteta za Elektrotehniko Ljubljana
E-pošta: gregor.scavnicar@gmail.com

Abstract

Vehicular Ad Hoc Networks (VANET) is an emerging technology in the field of Intelligent Transportation Systems (ITS). It has lots of potential since it will be able to prevent accidents and deliver more comfortable driving experience to all passengers in the vehicle. Vehicles will become nodes in the network and exchange safety and other types of messages. For this to become a reality there is a need of a set of rules that creates and maintains a route and forwards messages on this route. Routing is essential in any kind of network since it enables the propagation of data from one node to another. Protocols in this type of ad hoc network are divided into five categories: topology, location, cluster, geocast and broadcast based protocols. Each category has its own unique way of routing messages which differentiates it from others. In this paper a comparison between all of the five categories is carried out and the most promising protocols are exposed.

1 Uvod

VANET omrežja so poseben tip mobilnih ad hoc omrežij, ki z uporabo za to prilagojenih tehnologij povežejo vozila in obcestne oddajne enote (angl. RoadSide Units - RSU) v enotno brezžično omrežje. Vozila so opremljena s sprejemno enoto (angl. OnBoard Unit – OBU), ki grafično in/ali zvočno podaja informacije, ki jih pridobi od ostalih udeležencev prometa ali od obcestnih enot.



Slika 1: VANET omrežje [1]

V VANET omrežjih lahko vozila komunicirajo neposredno med seboj ali z obcestnimi enotami. Formacija takega omrežja (Slika 1) omogoča nemoteno izmenjavo informacij, vsako vozilo, opremljeno s sprejemno napravo, pa je vozlišče v omrežju in lahko sprejema ter posreduje sporočila.

Narava informacij je opredeljena v treh različnih skupinah. V prvo skupino sodijo varnostna opozorila, kot je opozorilo na nesrečo ali delo na cesti. Taka sporočila vozniku podajajo bistvene informacije, da lahko ustrezno ukrepa v dani situaciji. Drug tip informacij skrbi za učinkovito uporabo cest in vozniku sporočajo kje je prišlo do zastojev, da ta lahko izbere drugo pot. Zadnja skupina udeležencem v prometu krajša čas z uporabo informacijsko – zabavnih storitev.

Usmerjanje paketov v katerem koli omrežju igra pomembno vlogo. Glede na to, da so omrežja VANET zelo podobna mobilnim ad-hoc omrežjem (angl. Mobile Ad hoc Network – MANET), je logično, da se je najprej preverilo ustreznost MANET-protokolov. Izkazalo se je, da unikatne karakteristike VANET-omrežij onemogočajo zadovoljivo delovanje teh protokolov. Večina vozlišč znotraj VANET-omrežja je mobilnih in se giblje z veliko hitrostjo, vendar so vozila omejena na ceste in imajo zato vnaprej določeno pot. To pomeni, da do neke mere lahko predvidimo, kje se bo vozilo gibalo. Zaradi tega je potrebno oblikovati tak protokol, ki bo lahko na robusten in zanesljiv način posredoval pakete preko več skokov, da bodo le ti dosegli cilj. V preteklih letih se je pojavilo veliko predlogov novih protokolov, ki se spopadajo z dinamičnostjo VANET-a na različne načine. Nekateri so bili oblikovani za urbano okolje, drugi za avtoceste, vsi pa imajo isti cilj – dostava sporočila. [2]

2 Usmerjevalni protokoli

Usmerjevalni protokol narekuje način, kako dve vozlišči med seboj izmenjata informacije. To vključuje postopek ustvarjanja poti (angl. route), odločitve v posredovanju, vzdrževanje poti in ponovno vzpostavitev v primeru napake. Vsi v nadaljevanju predstavljeni protokoli se zanašajo na komunikacijo tipa V2V (angl. vehicle to vehicle), nekateri pa še dodatno omogočajo komunikacijo z obcestnimi enotami, torej V2R (angl. vehicle to roadside equipment).

V VANET-ih so usmerjevalni protokoli umeščeni v pet kategorij: topološko, gručasto, geografsko, razpršeno in pozicijsko osnovani. [3]

2.1 Topološko osnovani protokoli

Ta vrst protokolov uporablja informacije, ki jih pridobi na povezavah v omrežju za posredovanje paketov. Protokoli so nadalje razdeljeni v tri podskupine in sicer: proaktivne, reaktivne in hibridne.

2.1.1 Proaktivni protokoli

Proaktivno usmerjanje pomeni, da so usmerjevalne informacije, kot je recimo naslednji skok, ves čas shranjene in vzdrževane, ne glede na zahteve po komunikaciji v vsakem vozlišču. Paketi za vzdrževanje so konstantno oglaševani in preplavljeni (angl. flooded) med vozlišči s čimer se lokalno ustvari usmerjevalna tabela. Prednost tega načina je, da lahko podatke hitro posredujemo, saj ni potrebe po odkrivanju poti, slabost protokola pa, da porabi veliko pasovne širine za vzdrževanje poti, ki mogoče sploh nikoli ne bodo uporabljene.

Proaktivni protokoli delujejo tako, da vozlišča periodično izmenjujejo informacije o topologiji med vsemi aktivnimi vozlišči v omrežju.

Vsi protokoli usmerjajo na osnovi stanja povezav (angl. link state). Osnovni koncept te družine je, da vsako vozlišče ustvari svojo mapo povezav v omrežju v obliki grafa, ki prikazuje povezave med posameznimi vozlišči. Vsako vozlišče potem, neodvisno od sosednjega, izračuna najboljšo pot za končni cilj. Izbor najboljših poti predstavlja usmerjevalno tabelo vozlišča.

2.1.2 Reaktivni protokoli

Reaktivni usmerjevalni protokoli se od proaktivnih razlikujejo v tem, da poiščejo pot za posredovanje paketov takrat, ko dve vozlišči pričneta komunicirati med seboj. Reaktivno usmerjanje se začne z iskanjem poti, ko se po celotnem omrežju razpošljejo poizvedbe za pot, in se zaključi, ko je pot vzpostavljena.

Vsi reaktivni protokoli so tipa "na zahtevo" (angl. on-demand routing protocols), saj usmerjevalno tabelo posodobijo šele, ko morajo poslati oziroma sprejeti podatke. Slabost teh protokolov je, da uporabljajo poplavljanje za odkrivanje poti, kar povzroči veliko porabo pasovne širine, poleg tega pa niso primerni za vse tipe aplikacij. Prav varnostne aplikacije, zaradi katerih se primarno omrežja VANET razvijajo, ne delujejo dovolj dobro z uporabo reaktivnih protokolov, saj gradnja poti vnaša dodatne zakasnitve pri prenosu časovno kritičnih varnostnih sporočil.

2.1.3 Hibridni protokoli

Hibridni protokoli so kombinacija proaktivnih in reaktivnih protokolov. Ustvarjeni so bili z namenom, da zmanjšajo porabo pasovne širine, ki jo potrebujejo proaktivni usmerjevalni protokoli, in da skrajšajo čas, potreben za vzpostavitev poti, kar je slabost reaktivnih protokolov.

2.2 Gručasto osnovani protokoli

V gručasto osnovanih protokolih vozila, ki so blizu druga drugemu, ustvarijo gručo (angl. cluster). Vsaka

gruča izbere svojega vodjo (angl. cluster head), ki je zadolžen za urejanje relacij med gručami in v njih. Znotraj-gručna (angl. intra-cluster) vozlišča komunicirajo med seboj z uporabo direktnih povezav, medtem ko med-gručne (angl. inter-cluster) komunikacije potekajo preko vodij gruč.

Gručasti protokoli so primerni za velika omrežja z veliko vozlišči, vendar pa lahko pričakujemo visoke zakasnitve ob formiranju gruč v izredno mobilnih omrežjih VANET.

2.3 Geografsko osnovani protokoli

Geografsko usmerjanje je usmerjanje do točno določenih uporabnikov in se uporablja za posredovanje paketov vsem vozilom znotraj vnaprej določene geografske regije, ki se imenuje interesna cona (angl. Zone of Relevance – ZOR). Ta se določi z uporabo GPS informacij. Protokoli delujejo tako, da so sporočila poplavljenjena samo znotraj interesne cone, s tem pa zmanjšajo nepotrebne obremenitve omrežja, ki bi se pojavila, če bi sporočila preprosto poplavljali po celotni mreži. Protokoli so oblikovani za uporabo na avtocestah, njihove slabosti pa so deljenje omrežja na dele in obstoj neugodnih sosednjih vozlišč, ki ovirajo pravilno razširjanje sporočil.

2.4 Razpršeno osnovani protokoli

Primarni cilj razpršenega usmerjanja v omrežjih VANET je posredovanje informacij od vira do več neznanih vozlišč. Tak način delovanja je nujen za VANET, pa ne samo zaradi posredovanja, temveč tudi zaradi dostave sporočil brez ustvarjanja poti. Prav zaradi več-etapnega delovanja v omrežjih VANET je poplavljanje osnovni mehanizem za implementacijo več-etapnega razpršenega usmerjanja.

Usmerjanje deluje tako, da so paketi poslani po celotnem omrežju. To sicer zagotovi dostavo sporočil, vendar na račun pasovne širine in podvojenih paketov. Razpršeni protokoli se izognejo tem problemom z implementacijo različnih izboljšav, kot na primer, da le določeno število vozlišč posreduje sporočila naprej.

2.5 Pozicijsko osnovani protokoli

Pri pozicijsko naravnanih usmerjevalnih protokolih odločitev o usmerjanju sloni na geografski poziciji ponornega vozlišča in na geografski poziciji sosedov izvornega vozlišča. Pozicija destinacije je shranjena v glavi vsakega paketa, medtem ko je destinacija 1-hop sosedov pridobljena iz periodičnih sporočil o lokaciji. Vozlišča, ki so v radijskem dosegu nekega vozlišča, tako postanejo njegovi sosedji. Pozicijsko usmerjanje predvideva, da vsako vozlišče pozna svojo lokacijo.

Glede na to, da pozicijski protokoli niti ne izmenjujejo informacij o stanju povezav, niti ne vzdržujejo usmerjevalne tabele, veljajo za bolj odporne. Pakete usmerjajo do končnega vozlišča tako, da se pot določi dinamično glede na geografsko pozicijo sosednjih vozlišč, ko se paket pošlje. Vsi primerjani pozicijski protokoli so namenjeni za uporabo v urbanem

okolju in za svoje delovanje potrebujejo digitalni zemljevid.

2.5.1 Pozicijski protokoli, neodporni na zakasnitve

Osnovni pristop tako imenovanega požrešnega (angl. greedy) pristopa je, da vozlišče posreduje paket sosedu, ki je najbližje ponoru. Posredovanje je lahko neuspešno, če je vozlišče samo najbližje končni destinaciji. V tem primeru rečemo, da je paket dosegel lokalni maksimum pri tem vozlišču. Usmerjevalni protokoli v tej kategoriji imajo različne mehanizme za reševanje te situacije.

2.5.2 Pozicijski protokoli, odporni na zakasnitve

Vozlišča v VANET omrežjih so mobilna in zaradi tega prihaja do pogostih prekinitev. Z namenom premagati to oviro so bili razviti protokoli DTN (angl. delay tolerant network), ki vozliščem omogočajo, da shranijo in nekaj časa nosijo podatke. Ko imajo v svojem radijskem dosegu sosedo, katerim lahko posredujejo podatke, se posredovanje do cilja nadaljuje. Ta strategija se imenuje »prenašaj in posreduj« (angl. carry and forward).

2.5.3 Hibridni protokoli

Zadnja kategorija pozicijskih protokolov so hibridni protokoli. Tradicionalno geo-usmerjanje usmerja pakete v dveh režimih: požrešni način in obrobni način, ki zahtevata konstanto povezanost z omrežjem, le-ta pa ni vedno na voljo. Zaradi mobilnosti vozlišč v VANET omrežjih se pogosto zgodi, da se povezave prekinejo. Hibridni pozicijski protokoli situacijo rešujejo z implementacijo načina DTN.

Posredovanje poteka najprej v požrešnem načinu, sledi obrobno usmerjanje in, če še to zataji, uporabi DTN-način za dostavo paketov.

3 Rezultati

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati diplomske naloge [4], kjer je bilo znotraj posamezne skupine primerjanih 22 protokolov in sicer so bili primerjani glede na 6 kriterijev: scenarij, potreba po digitalnem zemljevidu, način vzdrževanja usmerjevalne tabele, način posredovanja podatkov, količina kontrolnih podatkov in zakasnitve.

Ker so protokoli znotraj posamezne skupine zelo različni, je primerjava vseh petih skupin po vseh kriterijih nemogoča. Skupine so tako primerjane glede na scenarij, za katerega so mišljeni in glede na potrebo po digitalnem zemljevidu, dodatno pa so izpostavljeni protokoli, ki so se izkazali za najboljše glede na vse omenjene kriterije.

Topološko naravnani protokoli so ustvarjeni za urbano okolje in ne potrebujejo digitalnega zemljevida. Informacije, ki jih potrebujejo za vzpostavitev poti med dvema vozliščema, pridobijo iz stanja povezav na posameznem vozlišču. Med topološko osnovanimi proaktivnimi protokoli je bil najbolj perspektiven FSR (angl. Fisheye state routing) [5], ki je imel najmanjše zakasnitve in najnižjo količino kontrolnih podatkov. V sklopu reaktivnih protokolov pa se je najbolje odrezal AODV (angl. Ad hoc On-Demand Distance Vector) [6].

Druga skupina so gručasti protokoli, ki so priročni za usmerjanje podatkov na velikih površinah, vendar se pojavijo visoke zakasnitve pri formaciji gruč v izredno mobilnih VANET omrežjih. Protokoli so sami zadolženi za kreiranje gruč, kar v osnovi dosežejo z razpršenim oddajanjem HELLO sporočil vsem vozliščem znotraj radijskega dosega. Sicer za svoje delovanje ne potrebujejo digitalnega zemljevida, kar je velika prednost, saj ponekod v mestu ni GPS-signala (tunel). Predstavnik te skupine je protokol LORA-CBF (angl. Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding) [7], ki v primerjavi z ostalimi v skupini doseže najnižje zakasnitve in najnižjo količino kontrolnih podatkov.

Geografski protokoli poizkušajo z definiranjem relevantne cone in uporabo sistema za globalno določanje lege omejiti nepotrebno razširjanje kontrolnih podatkov. V principu protokoli s kontrolnimi podatki poplavlajo samo tisto področje avtoceste, ki ima potencialno korist od pridobljenih informacij. IVG-protokol (angl. Inter-vehicle Geocast) [8] uporablja prav ta način in z določitvijo prvega in zadnjega vozila v relevantni coni omeji razširjanje sporočil.

Za razpršeno osnovane protokole je tipično, da zagotavljajo večjo verjetnost dostave sporočil, vendar na račun velike količine odvečnih informacij zaradi poplavljanja. Temu se poizkusijo izogniti na različne načine, recimo z omejenim posredovanjem razpršenih sporočil. Ti protokoli se najbolj obnesejo v situacijah, kjer ni veliko vozlišč (avtocesta) in se vozila praviloma vozijo v strnjenih skupinah ter se redko odcepijo. Vsi protokoli koristijo informacije GPS za bolj ekonomično uporabo pasovne širine. BROADCASTING protokol [9] ima prvine gručastih protokolov saj omrežje deli na manjše celice in dinamično izbira celične reflektorje (vodje gruč). S tem omeji razširjanje kontrolnih podatkov.

Zadnja skupina so pozicijsko naravnani protokoli, ki za iskanje poti in usmerjanje uporabljajo lokacijske informacije, ki so jim na voljo preko sistema za globalno določanje lege. S pomočjo navigacijskega sistema, ki jim poda natančen zemljevid cest in z uporabo periodičnih HELLO sporočil, določijo katera pot je optimalna za posredovanje paketov. Primerni so za delovanje v urbanem okolju. V skupini pozicijskih protokolov neodpornih na zakasnitve je najbolj perspektiven protokol LOUVRE [10], medtem ko je v skupini pozicijskih protokolov odpornih na zakasnitve največ obetal protokol VADD [11] zaradi najnižje količine kontrolnih podatkov.

Med vsemi dvaindvajsetimi protokoli, ki so bili primerjani v delu [4], je nemogoče izbrati najboljšega. Vsak protokol je namenjen za določeno okolje, potem pa je potrebno upoštevati še tip aplikacije, za katero je protokol namenjen. Varnostne storitve za razširjanje sporočil potrebujejo namreč protokole z najmanjšo možno zakasnitvijo, torej protokole, ki so proaktivne narave in že vzdržujejo usmerjevalno tabelo. Taki protokoli po navadi vnašajo velike količine kontrolnih podatkov v omrežje, kar pomeni stalno aktivnost in večjo možnost kolizij. Aplikacije, ki so časovno nekritične, tega ne potrebujejo in bi zato lahko

uporabljale drug protokol. Do zdaj se še ni pojavil protokol, ki bi bil idealen tako s stališča zakasnitev, kot s stališča količine kontrolnih podatkov.

V okviru pilotnega projekta SAFESPOT [12], ki ga je financirala Evropska komisija skupaj z Evropskim inštitutom za telekomunikacije, so se odločili za uporabo geografske skupine usmerjevalnih protokolov. Namen projekta je opozoriti na potencialno nevarne situacije in razširiti voznikovo zavedanje okolice v prostoru in času. Drug pilotni projekt, imenovan SARTRE [13], katerega cilj je avtonomna vožnja v gručah, pa za svoje delovanje ne uporablja VANET-usmerjevalnih protokolov, marveč se poslužuje posredovanja paketov UDP točno določenim vozilom.

Zaenkrat še ne obstaja standard, ki bi določeval, katere protokole je potrebno uporabljati v dani situaciji, oziroma za dano aplikacijo. Zato se vsi pilotni projekti, ki so bili realizirani bodisi v Evropi, bodisi v Ameriki, razlikujejo v načinu usmerjanja na omrežnem nivoju.

4 Zaključek

Usmerjanje igra zelo pomembno vlogo v omrežjih VANET vendar hitra mobilnost vozlišč in konstantno spreminjanje topologije pomenita, da tradicionalni MANET-protokoli niso najbolj primerni za ta tip ad-hoc omrežja. To motivira raziskovalce iz raznih sfer, da iščejo razširljive usmerjevalne algoritme, ki so dovolj robustni, da lahko prenesejo pogoste prekinitve v omrežju in zagotovijo kratke čase vzpostavitve poti ter visoko razmerje dostave sporočil.

Pri oblikovanju protokolov je zagotovo potrebno pomisliti, kakšnemu tipu aplikacij bodo protokoli namenjeni. Obstaja namreč veliko vrst informacij, ki so lahko zanimive za vse udeležence v prometu, kot je recimo vremenska napoved, konstantno osveževanje prostih parkirnih mest, predlaganje točk zanimanja, hkrati pa obstajajo informacije, ki so pomembne le za določeno skupino udeležencev prometa. Primer: delo na eni strani avtoceste je irelevanten podatek za voznike na drugi strani ceste, kot je tudi nepomembna informacija o prometni nesreči za voznike, ki so že mimo kraja dogodka. Zaradi teh dejstev je pomembno, da se izbere primeren tip protokola. Protokol za pošiljanje podatkov izbranemu prejemniku je nesmiseln za posredovanje informacij, ki so v interesu vseh, zato je v takem primeru bolj primeren razpršen način sporočanja. Podobno je nesmiselno razpršeno oddajati sporočilo, namenjeno enemu uporabniku, saj se s tem po nepotrebnem bremeni omrežje.

Naloga razvijalcev je, da razvijajo čim bolj specifične protokole, ki ne bodo nujno primerni za vsako okolje. Odzivnost in kvaliteta delovanja usmerjevalnih protokolov je namreč močno odvisna od okolja uporabe in od gostote vozlišč na danem geografskem področju. Zato je pomembno, da so protokoli prilagojeni za točno določeno situacijo.

Čeprav ima usmerjanje VANET dobro osnovno podlago, je nujno potrebno izvesti celovito oceno uspešnosti za različne protokole. To pa bo možno samo

v primeru, da bodo različni protokoli implementirani v podobnem okolju in sicer na dejanskih cestah in v realnem času, ne samo na simulatorjih.

Literatura

- [1] "VANET omrežje." [Online]. Available: http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2010_2/lemons/introducao.html. [Accessed: 21-Jun-2013].
- [2] S. Zeadally et al., "Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges," *Telecommunication Systems*, vol. 50, no. 4, pp. 217–241, Dec. 2010.
- [3] S. Kumar et al., "Qualitative Based Comparison of Routing Protocols for VANET," *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 1, no. 4, pp. 13–18, 2011.
- [4] G. Ščavničar, "Usmerjevalni protokoli v brezžičnih omrežjih med vozili," *Diplomsko delo*, 2013.
- [5] Wikipedia, "Fisheye State Routing - Wikipedia, the free encyclopedia." [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Fisheye_State_Routing. [Accessed: 21-May-2013].
- [6] Wikipedia, "Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing - Wikipedia, the free encyclopedia." [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/AODV>. [Accessed: 21-May-2013].
- [7] R. A. Santos et al., "Performance Evaluation of two Location-Based Routing Protocols in Vehicular Ad-Hoc Networks," *2005 IEEE 62nd Vehicular Technology Conference, 2005*, vol. 4, pp. 2287–2291, 2005.
- [8] A. Bachir et al., "A Multicast Protocol in Ad hoc Networks Inter-Vehicle Geocast," *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, 2003*, vol. 4, pp. 2456–2460, 2003.
- [9] M. Durrezi et al., "Emergency Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communications," *11th International Conference on Parallel and Distributed Systems Workshops*, vol. 2, pp. 402–406, 2005.
- [10] K. C. Lee et al., "LOUVRE: Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environments," *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*, pp. 1–5, Sep. 2008.
- [11] J. Zhao et al., "VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks," *INFOCOM 2006. 25th IEEE International Conference on Computer Communications. Proceedings*, pp. 1–12, 2006.
- [12] SAFESPOT, "Safespot." [Online]. Available: <http://www.safespot-eu.org/>. [Accessed: 15-Jun-2013].
- [13] SARTRE, "The SARTRE project." [Online]. Available: <http://www.sartre-project.eu/en/Sidor/default.aspx>. [Accessed: 15-Jun-2013].