



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Informazione

**ALGORITMI DI ROUTING PER VEHICULAR
AD-HOC NETWORKS (VANETS)**

Laureando

Nicola Volpato

Relatore

Prof. Andrea Zanella

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

Indice

1	Introduzione	1
2	Le Reti MANET	3
2.1	Le reti ad-hoc	3
2.2	Le MANET	3
3	Le Reti VANET	9
3.1	Le Reti VANET	9
3.2	Problemi nelle comunicazioni	11
3.2.1	Flooding semplice	12
3.2.2	Metodi probabilistici basati su contatore	12
3.2.3	Metodo basato sulla posizione	12
3.2.4	Risultati e comparazioni	13
4	Il Routing nelle Reti VANET	15
4.1	Precisazioni sul routing	15
4.2	Il routing nelle VANET	16
4.2.1	Protocolli Topology Based	17
4.2.2	Protocolli Location Based	22
	Conclusioni	25
	Bibliografia	27

Capitolo 1

Introduzione

In questi ultimi anni il contesto automobilistico si sta arricchendo di tecnologie più moderne e avanzate al fine di aumentare la sicurezza stradale e migliorare la viabilità urbana ed extra urbana. Inizialmente gli studi sulla sicurezza sono stati focalizzati sulla realizzazione di dispositivi passivi e attivi basati solo sulla fisica del veicolo. Sono stati sviluppati sistemi che cercano di ridurre i rischi di traumi fisici al conducente e ai passeggeri come airbag o barre protettive laterali, sistemi che migliorano la stabilità e l'assetto della vettura (ESP) e sistemi di miglioramento della frenata (ABS), che sono ora presenti sulla quasi totalità dei veicoli.

Con lo sviluppo delle reti wireless e le reti ad-hoc, ora la ricerca è concentrata su sistemi capaci di prevedere e, se possibile, evitare incidenti o collisioni tra veicoli, mantenendo il conducente costantemente avvisato sullo stato del traffico, su eventuali brusche frenate dei veicoli che lo precedono e sulle condizioni atmosferiche lungo il tragitto programmato.

Tutto ciò può essere reso possibile tramite una cooperazione istantanea e costante tra i veicoli o tra il veicolo e i sistemi di infrastrutture stradali che formano l'intero sistema viario, anche per mezzo di sistemi di comunicazione sempre più efficienti e di reti satellitari permanenti che forniscono servizi di localizzazione geografica.

L'idea che sta alla base delle reti VANET (Vehicular ad-Hoc Network) è di tipo biologico, riportata ai veicoli e all'intero sistema viario. I veicoli che percorrono una data strada, inviano ai propri "vicini" (ovvero a veicoli

che si trovano all'interno dell'area di copertura dell'antenna trasmittente) informazioni varie, come lo stato del terreno, i dati riguardanti velocità e direzione, il tipo di strada, il traffico presente, ecc.

I veicoli che ricevono questi messaggi dai nodi trasmettenti acquisiscono in questo modo informazioni utili alla viabilità. Alla ricezione di ogni messaggio, un veicolo valuta le informazioni contenute al suo interno per poi prendere delle decisioni. Successivamente queste informazioni vengono inoltrate ai propri vicini oppure scartate.

La realizzazione di sistemi di comunicazione veicolo-veicolo e veicolo-infrastrutture è stata possibile grazie agli studi compiuti negli ultimi decenni. In questo periodo infatti, si è avuto un notevole sviluppo nel campo delle reti wireless e delle reti "auto-organizzanti", ovvero reti che non richiedono alcuna infrastruttura fissa. Lo scopo di questa tesi è fornire una panoramica sulle reti VANET con particolare riferimento ai protocolli di routing.

La tesi si suddivide in 5 capitoli. Il Capitolo 2 presenta un breve excursus sulle reti Ad-hoc, le reti MANET e le loro caratteristiche e differenze principali con le reti infrastrutturate odierne.

Il Capitolo 3 introduce le reti VANET come sottocategoria delle reti MANET. Vengono presentate le varie caratteristiche e peculiarità di queste reti. Si procede quindi con la trattazione in generale delle problematiche delle comunicazioni tra nodi.

Il Capitolo 4 analizza le varie classi di protocolli di routing proposte per le reti VANET e ne presenta una suddivisione.

Vengono poi tratte le conclusioni ed indicati i possibili sviluppi futuri.

Capitolo 2

Le Reti MANET

2.1 Le reti ad-hoc

Le “reti ad-hoc” o “auto-organizzanti” sono reti costituite da nodi completamente autonomi che collaborano tra loro tramite lo scambio di informazioni e messaggi. Esistono due tipi di reti ad-hoc [1]:

- reti ad-hoc statiche
- reti ad-hoc dinamiche o mobili

Nelle reti ad-hoc statiche la posizione dei nodi non cambia nel tempo. Un nodo, dopo essere entrato a far parte della rete, rimane nella stessa posizione geografica senza subire variazioni.

Nelle reti ad-hoc mobili invece, i nodi sono liberi di muoversi anche dopo essere entrati a far parte della rete. Generalmente le reti ad-hoc mobili sono chiamate MANET [2]. Una MANET quindi è costituita da un insieme di nodi mobili che formano tra loro una rete con capacità di scambiarsi messaggi senza l'aiuto di infrastrutture preesistenti.

2.2 Le MANET

Le MANET (Mobile Ad-hoc Network) sono costituite da un sistema di nodi dotati di mobilità e capacità di organizzarsi dinamicamente in reti senza

topologie fisse: tali reti permettono le comunicazioni wireless tra nodi senza il supporto di infrastrutture.

Ogni nodo è equipaggiato con antenne in grado di trasmettere messaggi *unicast* o *broadcast* e modificare la potenza di trasmissione (ovvero il raggio di trasmissione) in base al numero di nodi presente in una data area geografica. Ciò che caratterizza principalmente questo tipo di architettura è che i nodi svolgono anche il compito di ritrasmettere messaggi destinati ad altri.

Le reti MANET, oltre a far comunicare i nodi fra di loro, devono essere in grado di comunicare con altri tipi di rete, specie quelle basate su indirizzi IP fissi. Questa necessità nasce dall'esigenza di scambiare informazioni con le altre reti esistenti. Ad esempio, può essere necessario far interagire le MANET con le reti UMTS [3], WLAN [4] già esistenti o con eventuali nuovi servizi futuri.

Il traffico di rete nelle MANET e nelle reti non-infrastrutturate presenta tuttavia alcune differenze rispetto al traffico delle reti con strutture fisse come quelle UMTS o cablate sopra citate:

- **Alta mobilità dei nodi:** nelle MANET la topologia di rete muta nel tempo, quindi deve essere in grado di poter gestire tali cambiamenti utilizzando tecniche che permettano la migliore copertura geografica del segnale ed evitino la formazione di zone d'ombra (zone non coperte dal raggio d'azione dei nodi) o zone di ipercopertura (zone più volte coperte dal raggio d'azione delle antenne dei nodi).
- **Assenza del controllo e della gestione della rete:** data l'assenza di infrastrutture fisse, nelle MANET manca una supervisione centralizzata della rete e la gestione ed il controllo della stessa è distribuita tra i vari nodi, i quali devono farsi carico sia del routing (instradamento) che della sicurezza della comunicazione.
- **Problema del terminale Esposto:** il problema del terminale esposto si ha quando due nodi all'interno della stessa area di copertura intendono comunicare con altri nodi esterni che non interferiscono tra loro. Uno dei due nodi interni inizia la trasmissione con il nodo esterno cui vuole comunicare, mentre l'altro nodo interno non può iniziare la

comunicazione, in quanto il canale risulta occupato dalla comunicazione dell'altro nodo, e avvia quindi una procedura di *back-off* (attesa casuale) che porta alla degradazione dell'efficienza della rete.

- **Problema del terminale Nascosto:** il problema del terminale nascosto invece si ha quando due nodi che non sono in visibilità diretta provano a comunicare contemporaneamente con un nodo intermedio. Ciò determina collisioni di pacchetti sul nodo ricevente con la conseguente perdita delle informazioni contenute all'interno dei messaggi inviati.
- **Protocollo CSMA-CA:** nelle reti cablate odierne a commutazione di pacchetto nessun nodo può iniziare a comunicare con un altro nodo se il canale è già occupato da un'altra trasmissione [5]. Se un nodo è in fase di trasmissione, tutti gli altri nodi sono in grado di captare il segnale e quindi è possibile regolare la turnazione della trasmissione con la tecnica dei *back-off*. Tali protocolli si potrebbero applicare anche alle reti wireless se tutti i nodi riuscissero a comunicare simultaneamente tra loro. Questo tuttavia non è possibile a causa della struttura delle antenne radio odierne: se un nodo è in fase di trasmissione non può capire se un altro nodo sta a sua volta trasmettendo. Tale limitazione rende inapplicabile il *Collision Detection* in questo tipo di reti mobili e si è optato perciò per l'uso del protocollo CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance*) [6]. In questo protocollo, il terminale che vuole trasmettere dati ad un altro, prima manda un messaggio di richiesta di via libera per la comunicazione (RTS - *Request To Send*) al destinatario, quindi attende la risposta che può dare il via libera alla trasmissione (CTS - *Clear To Send*) se il nodo-destinatario non è occupato con un'altra trasmissione.

Un importante problema legato alle reti Ad-hoc è quello del consumo di energia; tuttavia ci sono particolari MANET in cui questo requisito non riveste un ruolo di primaria importanza: le VANET [7] [8]. I dispositivi installati sui veicoli, infatti, vengono alimentati dalle batterie delle vetture.

Tali batterie costituiscono una fonte di alimentazione inesauribile dato che vengono ricaricate continuamente ad ogni accensione del veicolo.

Tuttavia, il controllo della potenza di trasmissione dei dispositivi radio continua ad essere importante a causa della costante modifica della topologia della rete. La possibilità di variare la potenza di trasmissione delle antenne radio, infatti, ha come risultato una riduzione delle interferenze ed un guadagno di efficienza nella trasmissione.

Un veicolo, ad esempio, può trovarsi a trasmettere in condizioni molto differenti: in autostrada con basso traffico, o in prossimità di una città, dove è costretto a scambiare messaggi con un grande numero di nodi dato che nel raggio d'azione della propria antenna rientrano numerosi veicoli. Infatti, la densità media di veicoli nelle città è molto più alta rispetto a strade extraurbane o autostrade. In quest'esempio, una buona soluzione è quella di ridurre la potenza di trasmissione dell'antenna non appena il veicolo è entrato in città, riducendo in tal modo il traffico di rete tra il veicolo e i suoi vicini.

Essendo le MANET delle reti di tipo wireless, il mezzo fisico di comunicazione adottato è quello radio. Questo mezzo è soggetto a diversi problemi: possono essere, ad esempio, disturbi nel segnale di trasmissione causati da rifrazioni e diffrazioni delle onde radio, disturbi spesso causati da conformazioni ambientali, raggi di trasmissione dei nodi della rete limitati e non perfettamente ben distribuiti nel territorio, e così via. Questi problemi possono provocare degli errori nella comunicazione che le reti MANET devono essere in grado di individuare e/o correggere. Una trasmissione, infatti, deve sottostare a determinati vincoli di efficienza e robustezza.

Nelle reti infrastrutturate, gli algoritmi di ottimizzazione delle trasmissioni operano in diversi strati della pila protocollare. Nelle MANET, invece, garantire l'efficienza nella trasmissione è un compito arduo da raggiungere a causa dei seguenti motivi:

1. Il layer fisico è soggetto ad un alto tasso di errori di trasmissione e di ricezione causato dall'ambiente fisico. Nelle reti cablate invece la percentuale d'errore è molto più bassa.
2. La presenza sul mercato di un alto numero di tecnologie wireless ete-

rogenee crea scenari in cui i nodi possono essere dotati di dispositivi (antenne, ricevitori gps, ecc.) diversi tra loro creando difficoltà nelle comunicazioni.

Capitolo 3

Le Reti VANET

In questo capitolo si introdurranno le reti VANET, se ne illustreranno caratteristiche e differenze rispetto alle reti MANET generali e si presenteranno i principali problemi nelle comunicazioni alle quali sono soggette.

3.1 Le Reti VANET

Le reti VANET (Vehicular Ad-hoc NETwork) [7] [8] dette anche “*Mobile Ad Hoc Network for InterVehicle Communications*” (IVC) sono una sottocategoria delle reti MANET. In questo genere di reti, a differenza delle reti MANET, i nodi si muovono a velocità ragguardevoli in senso relativo (tra loro) e assoluto (rispetto a qualsiasi punto di riferimento fisso come un distributore di benzina, semaforo, ecc.) e di conseguenza la topologia delle reti o sottoreti muta continuamente e rapidamente.

La comunicazione tra veicoli è considerata una delle priorità nell’ambito delle reti ad-hoc. La ragione dell’interesse in questo genere di tecnologia è il seguente:

- Può essere di aiuto in situazioni di pericolo in strade o autostrade in caso di incidenti attraverso la diffusione di messaggi di *warning* [9] che possono essere di ausilio ai conducenti dei veicoli.
- Può fornire servizi di sicurezza attiva intelligente oltre a quella passiva fornita da sistemi tipo ABS o ESP. Esempi di sicurezza attiva possono

essere segnalazioni acustiche in caso di situazioni pericolose che stanno per verificarsi oppure diffusione di informazioni meteorologiche avverse come banchi di nebbia su strade.

- Può fornire benefici tramite servizi innovativi all'intero sistema dei trasporti, come ad esempio comunicare a tutti i veicoli all'interno di un'area geografica un incidente, riducendo così i tempi di soccorso, oppure, l'organizzazione di messaggi di emergenza in caso di eventi disastrosi in aree urbane sfruttando anche i sistemi di localizzazione dei veicoli, o altri ancora.

Quindi la tecnologia VANET, se efficientemente implementata, può diventare uno degli strumenti più utili alla sicurezza stradale nei prossimi decenni.

È importante sottolineare che le VANET hanno caratteristiche peculiari rispetto alle MANET generiche, infatti, alcuni problemi importanti per reti ad-hoc generiche non creano problemi nelle VANET:

- I veicoli non hanno problemi di reperimento dell'energia necessaria per effettuare le comunicazioni dei messaggi. Infatti, possono usare l'energia delle batterie dei veicoli stessi. Perciò tecnologie come *Dedicated Short-Range Communications* (DSRC) [10] oppure tecnologie *3G* [11] dei cellulari possono essere impiegate senza limitazioni di carattere energetico per la trasmissione dei messaggi tra i veicoli.
- I veicoli, grazie all'uso di sistemi di posizionamento come il GPS [12] e grazie all'uso di mappe dettagliate dei territori, hanno una buona conoscenza del territorio circostante.
- L'assenza di problematiche energetiche dei nodi e la possibilità di immagazzinare dati in dispositivi di massa installati sui veicoli fanno sì che si possono creare algoritmi focalizzati sulle performance e non sul consumo energetico.

Molte aziende produttrici di veicoli stanno facendo ricerca attiva su questo tipo di tecnologie. I campi di ricerca tuttora aperti sono numerosi e

spaziano dalla realizzazione dello *scheduling* del *broadcast*, sino ad arrivare a studiare le problematiche che comporta l'impiego del *flooding* (letteralmente “inondamento della rete”) in un protocollo senza rilevamento di collisioni (CSMA-CA).

Bisogna inoltre studiare i vari protocolli di rete applicabili a tale tecnologia e come questi possono essere ottimizzati se affiancati a sistemi di posizionamento (come GPS o mappe digitali) che permettono ai nodi di avere una conoscenza dell'ambiente circostante.

Infine, la natura dinamica che caratterizza le VANET e la necessità di avere comunicazioni estremamente veloci per poter far fronte ad eventi imprevisti (incidenti, ingorghi stradali, inversione di marcia repentina, ecc.) implica anche studi dettagliati sulle performance reali delle soluzioni proposte e sui problemi che possono insorgere durante la trasmissione di messaggi con diverse priorità.

3.2 Problemi nelle comunicazioni

L'obiettivo principale delle reti VANET è quello di creare le comunicazioni tra i vari nodi (i veicoli) della rete. Stabilire le comunicazioni non è un compito banale, in quanto il percorso tra due nodi che vogliono comunicare non è conosciuto a priori, a causa dell'alta mobilità di cui i nodi sono dotati in queste reti.

Un messaggio viene trasmesso da un veicolo all'altro sino a raggiungere il nodo destinatario. Il sistema abituale adottato per la creazione delle rotte è il *broadcast* [13] [14]. Il più semplice algoritmo di broadcast che si utilizza è il *Flooding* (inondamento). Nel *Flooding*, ogni nodo al ricevimento di un messaggio lo ritrasmette ai propri vicini una volta soltanto. Come si può notare, quest'algoritmo è molto semplice da implementare. Tuttavia, il suo utilizzo nella rete può portare a un numero esponenziale di messaggi talvolta ridondanti e questo può ridurre drasticamente le prestazioni della rete stessa.

Sono state studiate diverse possibili ottimizzazioni dell'algoritmo del *Flooding*, tutte con l'obiettivo di ridurre al minimo possibile il numero delle ritrasmissioni:

- Flooding semplice [15]
- Metodi probabilistici (metodi che fanno uso di contatori) [16]
- Metodi basati sulle distanze o sulle posizioni [16]

3.2.1 Flooding semplice

Il *Flooding* semplice consiste nella trasmissione omnidirezionale del pacchetto a tutti i nodi nell'area di copertura del mittente, nodi che a loro volta invieranno il pacchetto a tutti i loro vicini, compresi quelli dai quali lo hanno appena ricevuto. In tal modo un nodo che riceverà più volte un messaggio dai propri vicini, lo ritrasmetterà altrettante volte incrementando il traffico nella rete.

3.2.2 Metodi probabilistici basati su contatore

I metodi probabilistici basati su contatore sono delle ottimizzazioni dell'algoritmo di broadcast del *Flooding* semplice. Esse cercano di ridurre il numero delle ritrasmissioni dei messaggi ridondanti durante la comunicazione tra i nodi. Questi metodi si basano sul concetto di contare i messaggi che i nodi ricevono durante una comunicazione. Ogni volta che un nodo riceve un nuovo messaggio, inizializza un contatore con valore "1" ed un ritardo di trasmissione chiamato RAD (Random Assessment Delay). Se durante questo ritardo RAD, il nodo riceve nuovamente lo stesso messaggio allora incrementa il contatore di 1.

Allo scadere del RAD, se il contatore è al di sotto di una certa soglia prefissata il pacchetto viene spedito, altrimenti viene scartato.

3.2.3 Metodo basato sulla posizione

Il Metodo basato sulla posizione propone un'ulteriore ottimizzazione al *Flooding* semplice limitando così il numero di ritrasmissioni ridondanti. Con questo metodo, un nodo prima di inviare un messaggio o ritrasmettere un messaggio ricevuto, appone all'interno dell'*header* la sua posizione geografica (ottenuta ad esempio con dispositivi come il GPS).

Quando un nodo riceve per la prima volta un pacchetto, controlla la posizione geografica del mittente contenuta nell'*header* del pacchetto, calcola la distanza massima a cui può ritrasmettere il pacchetto in base alla sua posizione corrente e alla copertura della propria antenna. Tale distanza prende il nome di “area di copertura addizionale”.

Se la distanza massima calcolata è inferiore ad un certo valore di soglia fissato, il nodo scarcerà il pacchetto e tutte le repliche ricevute successivamente. Se invece la distanza supera la soglia limite, il nodo assegna un RAD al pacchetto e ritrasmette secondo la modalità descritta precedentemente.

Durante il RAD, il nodo può ricevere nuovamente lo stesso pacchetto da qualche altro nodo, in questo caso il nodo ricalcola la distanza massima alla quale può essere trasmesso il pacchetto (nello stesso modo in cui è stata calcolata quando ha ricevuto un pacchetto per la prima volta) e ritesta le condizioni di soglia. Tutte queste operazioni vengono effettuate continuamente sino allo scadere del RAD.

3.2.4 Risultati e comparazioni

Partendo dalla base che il numero massimo di pacchetti ridondanti in una comunicazione sono quelli creati dal *Flooding* semplice, si può notare che le ottimizzazioni portano a questi risultati: il metodo basato su contatori elimina molte ritrasmissioni di pacchetti di *broadcast* quando si è in presenza di una densa distribuzione di nodi in un'area. Se si hanno delle informazioni spaziali (ad esempio ottenute da GPS), il metodo basato sulla posizione è quello che ottiene le migliori performance perché è in grado di eliminare ulteriori ritrasmissioni in tutte le possibili distribuzioni dei nodi in un'area geografica, senza tuttavia compromettere la raggiungibilità del nodo destinatario.

Capitolo 4

Il Routing nelle Reti VANET

In questo capitolo sono presentati i principali *algoritmi di routing* [17] [18] [19] per lo scambio di messaggi tra i veicoli di una VANET: vengono fornite alcune precisazioni al problema del routing e una classificazione degli algoritmi proposti in letteratura.

4.1 Precisazioni sul routing

Come già visto nei capitoli precedenti, una rete ad-hoc è un sistema autonomo di nodi connessi da link wireless e liberi di muoversi in maniera casuale cambiando in modo costante la topologia della rete. I protocolli di routing devono pertanto essere in grado di gestire questa alta mobilità cercando di trovare i percorsi migliori tra i vari nodi. Inoltre è necessario considerare le seguenti caratteristiche:

- **Minimizzazione della distanza del cammino tra due nodi:** un nodo può inviare un messaggio al nodo più lontano all'interno del raggio d'azione della propria antenna eliminando così alcuni instradamenti intermedi.
- **Limitatezza della banda di comunicazione:** si deve cercare di limitare i messaggi ridondanti per mantenere stabile la connessione dopo che essa è stata creata.

- **Ripristino della connettività:** se una connessione fallisce deve essere possibile ricreare in tempi rapidi, quando possibile, un cammino alternativo tra due nodi.
- **Individuazione di errori nelle comunicazioni:** devono essere presenti meccanismi automatici che possano individuare i frequenti errori nelle comunicazioni VANET.
- **Scegliere i percorsi in base alla posizione geografica (ottenuta da GPS) dei nodi mittente, destinatario ed intermedi.**

4.2 Il routing nelle VANET

Le reti di comunicazione tradizionali sono dotate di dispositivi (router o switch) che inoltrano i dati attraverso i vari link. I terminali come PC o telefoni, si connettono ad Internet allacciandosi direttamente alle infrastrutture di rete fissa in determinati punti geografici. I protocolli di routing più comuni nelle reti “*packet switched*” sono di tipo *link-state* o *distance vector* [20]. Questi algoritmi, sfruttando la collocazione geografica dei singoli nodi, permettono di trovare il cammino più breve tra i propri vicini, in modo da poter raggiungere il destinatario del pacchetto tramite il cammino minimo o “*shortest path*”.

Invece un sistema di comunicazione caratterizzato da un’alta mobilità di terminali è quello della telefonia mobile. In questo sistema esiste però un’infrastruttura gerarchica preesistente, infatti il territorio viene suddiviso in zone, dette celle, ed ogni cella è coperta da un’antenna chiamata “*Base Station*” (BS). Ogni BS svolge il medesimo compito che svolgono i router in Internet gestendo ed instradando gli utenti mobili (i cellulari) che si trovano sotto il suo raggio d’azione.

Le reti mobili ad-hoc, invece, non possono essere supportate da questi tipi di protocolli che richiedono un alto numero di messaggi di controllo nelle comunicazioni e una forte conoscenza della topologia della rete. Abbiamo già sottolineato, infatti, che a causa della limitata banda nei link wireless il numero dei messaggi circolanti nella rete deve essere contenuto.

Molti studi sugli algoritmi di routing sono stati fatti tenendo conto della limitatezza della banda di comunicazione, cercando quindi di ridurre il numero di messaggi superflui che si scambiano in una comunicazione.

Sono stati proposti numerosi protocolli di routing che possono essere classificati in due classi:

- **Topology Based:** questi protocolli utilizzano informazioni sui link esistenti tra i nodi della rete per effettuare il routing.
- **Location Based:** questi protocolli utilizzano informazioni sulla posizione geografica dei nodi per effettuare il routing dei messaggi. Tali informazioni permettono ai protocolli di superare le limitazioni che hanno quelli di tipo *topology-based*. Un servizio di localizzazione (ad esempio il GPS) viene usato dal mittente per determinare la posizione del destinatario. Questa posizione viene inclusa nell'*header* di ogni pacchetto e funge da ausilio per l'operazione di routing. Con questi protocolli le decisioni di routing dipendono solamente dalla posizione geografica del destinatario e dalla posizione geografica dei suoi vicini più prossimi. Pertanto, i protocolli *location-based* non creano o gestiscono rotte. I nodi non necessitano di salvare tabelle di routing o scambiare messaggi di controllo; inoltre, tali protocolli permettono il broadcast di messaggi verso una data area geografica o "*geo-cast*". In questa categoria di protocolli distinguiamo il protocollo DREAM [21] (protocollo di tipo proactive) e il protocollo GPSR [22] il quale usa informazioni di localizzazione dei vicini, ottenute dal forwarding periodico di pacchetti di *beacon*.

4.2.1 Protocolli Topology Based

I protocolli di tipo *Topology Based* a loro volta si suddividono in:

- Proactive
- Reactive
- Ibridi (proactive e reactive)

Protocolli di tipo Proactive

I protocolli *Proactive* utilizzano strategie di routing classiche come il *link-state routing* (ad esempio OLSR) o *distance-vector routing* (ad esempio DSDV). Sono protocolli che cercano di mantenere il più aggiornate possibile lo stato delle tabelle di routing di tutti i percorsi possibili nella rete, anche in mancanza di un effettivo utilizzo di tutti i cammini. Lo svantaggio principale di questi approcci è che il mantenimento dei percorsi non usati può occupare una parte consistente della banda disponibile nel caso in cui la topologia della rete cambi frequentemente. Dato che la rete tra veicoli è estremamente dinamica questo genere di approcci può non dare buoni risultati, e quindi non essere utile alle reti VANET.

Nei protocolli di tipo *link-state* ogni nodo possiede e gestisce una propria visione della topologia di rete, incluso il costo dei link in uscita. Per mantenere tali informazioni, ogni nodo invia in broadcast (flooding) il costo di ogni link verso i propri vicini a tutti i nodi della rete. Questa operazione viene fatta periodicamente, e ogni qualvolta che vi sia un cambiamento di costo dei link dei nodi.

Può accadere che qualche costo ricevuto da un nodo possa essere errato, ciò può essere causato dai ritardi (fisici) di propagazione dei pacchetti nelle comunicazioni, dal partizionamento della rete o anche da altri motivi. Questi errori possono causare dei *loop* nella creazione di rotte tra i nodi; tuttavia tali loop durano solamente il tempo che i pacchetti impiegano ad attraversare il diametro della rete.

Nel protocollo OLSR [23] (Optimized Link State Routing) ogni nodo inizialmente collabora con i propri vicini per costruire una tabella di routing che contiene tutti i cammini verso tutti i nodi esistenti in una rete. I nodi, per mantenere aggiornate le proprie informazioni sulla topologia della rete, si scambiano dei messaggi periodici di controllo (UDP - User Datagram Protocol). Se un nodo riceve l'informazione di avvenuto cambiamento di costo, aggiorna la sua lista e applica l'algoritmo *Shortest Path* di *Dijkstra* [24] per scegliere il prossimo nodo a cui inoltrare il messaggio.

Nei protocolli di tipo *distance-vector* come il DSDV [25] (Destination Sequenced Distance Vector) invece, ogni nodo mantiene in memoria un vettore di distanze o costi verso ogni altro nodo.

Il DSDV è un'estensione dell'algoritmo di *Bellman-Ford* [26] e presenta un meccanismo che consiste nell'etichettare ogni distanza tra due nodi con una sequenza numerica. Tale sequenza, associata ad ogni nodo, permette di effettuare una distinzione tra un percorso vecchio ed uno nuovo. Affinché le distanze tra i nodi restino aggiornate, gli stessi inviano periodicamente le loro tabelle di routing ai nodi vicini. Invece, ogni volta che si ha un cambiamento della distanza minima tra una coppia di nodi, la nuova distanza minima viene diffusa ai nodi vicini.

Questo è il tipico comportamento dell'*algoritmo distribuito di Bellman-Ford*. Quest'algoritmo è soggetto al problema del "*counting-to-infinity*": se si interrompe il collegamento con un nodo, gli altri nodi possono impiegare un tempo infinito per aumentare gradatamente la stima della distanza per quel nodo e questo porta ad un enorme numero di messaggi trasmessi nella rete. È necessario quindi adoperare uno scalare come soglia, oltre il quale, il nodo viene considerato non raggiungibile e quindi fuori dalla rete.

In letteratura sono stati proposti molti protocolli per evitare i loop a lunga durata e il problema del "*counting-to-infinity*". Generalmente, questi algoritmi cercano di risolvere tali problemi utilizzando tecniche di coordinamento tra nodi e aumentando il numero di informazioni scambiate.

Protocolli di tipo Reactive

I protocolli di questo tipo detti anche "*Reactive On Demand*" (come DSR, e AODV) mantengono solamente i percorsi attualmente in uso e strettamente necessari riducendo il carico della rete nel caso in cui siano utilizzati solo alcuni sottoinsiemi di percorsi. È auspicabile che le comunicazioni tra macchine utilizzino solo un numero limitato di rotte: il routing di tipo reactive sembra quindi adeguato in questo genere di scenario.

Se si ha la necessità di una nuova rotta che arrivi ad un destinatario viene attivata una procedura di ricerca globale. Tutti gli algoritmi che utilizzano il *Flooding* fanno parte della classe *Reactive On Demand*. Al contrario dei

protocolli *Link State* e *Distance Vector*, (che mantengono le rotte verso tutte le potenziali destinazioni) l'*overhead* di rete di questi protocolli non è eccessivamente alto.

Il protocollo *Dynamic Source Routing* (DSR) [27] [28] è progettato specificatamente per l'uso nelle reti ad-hoc mobili. L'uso di questo protocollo rende la rete completamente auto-organizzante: i nodi, infatti, cooperano tra loro per l'invio dei messaggi. Fattori esterni come interferenze o problemi nelle connessioni vengono direttamente gestiti dal protocollo stesso.

In questo protocollo il nodo mittente determina l'intero cammino per raggiungere il nodo destinatario, ossia determina la completa sequenza di nodi attraverso i quali inoltrare i pacchetti e poterli consegnare al nodo destinatario.

Le principali fasi del protocollo sono la *Route Discovery* e la *Route Maintenance*:

- **Route Discovery:** è il meccanismo attraverso il quale un nodo che desidera trasmettere un pacchetto ad un nodo destinatario determina un cammino per poterlo inviare.
- **Route Maintenance:** è il meccanismo con cui il nodo origine può rilevare cambiamenti nella topologia della rete e quindi nel cammino che lo collega al nodo destinatario. Questi cambiamenti sono determinati da errori di comunicazione negli archi del cammino. Quando la *Route Maintenance* individua un errore, il nodo mittente può utilizzare un altro cammino per raggiungere il nodo destinatario oppure invocare nuovamente la procedura di *Route Discovery* per cercare un nuovo cammino.

La *Route Discovery* e la *Route Maintenance* funzionano in maniera *On Demand*. In particolare, DSR non richiede l'invio di pacchetti periodici di controllo. Per la natura interamente *On Demand* e per la mancanza di attività periodica, nel protocollo DSR si ha una riduzione drastica nell'*overhead* di rete specie in situazioni in cui i nodi sono stazionari e i cammini tra loro sono stati scoperti.

Il protocollo *Ad-hoc On Demand Distance Vector* (AODV) [29] è una variazione di tipo *On Demand* dei protocolli di *distance-vector*. In questo protocollo i nodi che non fanno parte di un cammino attivo tra due nodi che intendono comunicare tra loro non partecipano alla formazione dei percorsi e non partecipano a periodici scambi di messaggi per l'aggiornamento delle tabelle di routing.

Gli obiettivi principali del protocollo AODV sono:

- Inviare in broadcast pacchetti di *Discovery* solo quando strettamente necessari
- Distinguere la gestione dei vicini di un nodo e la gestione generale della topologia della rete
- Disseminare informazioni di cambiamento dei cammini solo ai nodi interessati

Il protocollo AODV, come DSR, utilizza una procedura di *Route Discovery*, ma a differenza di DSR (che crea un cammino a partire dal nodo mittente sino al nodo destinatario) la creazione di un cammino avviene dinamicamente basandosi sui percorsi locali dei nodi intermedi. Questa caratteristica mantiene l'*overhead* basso soprattutto se usato in reti con numerosi nodi e permette al protocollo AODV di essere efficiente nell'utilizzo della banda di rete, rende rapide le sue risposte ai cambiamenti della topologia ed evita la creazione di cammini ciclici tra nodi.

Protocolli di tipo Ibrido

I protocolli ibridi (ad esempio ZRP) sono protocolli che in parte utilizzano routing di tipo *Proactive* e in parte utilizzano routing di tipo *Reactive*.

Nel protocollo *Zone Routing Protocol* (ZRP) [30], ogni nodo gestisce con algoritmi di tipo *proactive* i cammini verso i nodi all'interno di una regione locale chiamata "*routing zone*". Se un nodo vuole iniziare una comunicazione con un altro nodo all'interno della sua regione, il calcolo del percorso tra i due nodi viene effettuato con un algoritmo di tipo *proactive*, se invece

vuole comunicare con un nodo all'esterno della propria zona il percorso viene calcolato con un algoritmo reactive.

La dimensione delle *routing zone* nel protocollo ZRP è fissata in base alla frequenza delle richieste di calcolo o dalla mobilità dei nodi della rete. Grandi zone sono utili nelle reti in cui si hanno alti numeri di richieste di cammini tra i nodi e gli spostamenti dei nodi sono lenti, piccole zone sono invece utili per reti con bassi numeri di richieste di cammini e con nodi che hanno spostamenti veloci.

4.2.2 Protocolli Location Based

Nei protocolli di tipo *Location Based* un nodo mittente può richiedere la posizione del nodo destinatario del messaggio tramite un servizio di localizzazione (GPS). Le decisioni di routing ad ogni nodo sono quindi basate sulla posizione della destinazione contenuta nel pacchetto e sulla posizione dei nodi *forwarder* (i nodi intermedi tra il nodo mittente e destinatario) presenti tra i vicini, riducendo in tal modo il tempo impiegato nella fase di ricerca delle rotte. I routing *Location Based*, infatti, non richiedono protocolli per stabilire le rotte e per mantenerle.

Esempi esistenti di servizi di localizzazione che mappano l'ID di un nodo nella sua posizione sono: *Homezone* [31], *Grid Location Service* [32] e il servizio di localizzazione usato da DREAM [21] (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility). Tutti questi servizi di localizzazione sono proattivi nel senso che continuamente comunicano le posizioni di tutti i nodi. Il protocollo DREAM, inoltre, mantiene le informazioni geografiche di ogni nodo nelle tabelle di routing e invia i messaggi lungo le direzioni geografiche opportune.

Per mantenere le tabelle di routing aggiornate in DREAM, ogni nodo periodicamente invia in broadcast dei pacchetti di controllo contenenti le proprie coordinate. Dalla descrizione data di DREAM però, questo protocollo utilizza le informazioni geografiche solo per effettuare i *delivery* dei messaggi e non nella fase di *route discovery*.

Infine, una delle caratteristiche peculiari di questo protocollo è l'ottimizzazione della banda di rete in caso di assenza di movimenti dei nodi. In

tal caso DREAM non effettua operazioni di aggiornamento delle tabelle di routing dei nodi, evitando così di inviare messaggi sulla rete.

Nel protocollo *Greedy Perimeter Stateless Routing* [22] (GPSR) ogni nodo della rete conosce la posizione dei propri vicini. La conoscenza del vicinato è ottenuta sia da messaggi di *beacon* inviati periodicamente dai nodi sia con l'utilizzo di servizi di localizzazione.

Il GPSR utilizza due metodi distinti per effettuare il *forwarding* dei messaggi, il *Greedy Forwarding* che applica quando possibile, ed un altro, il *Perimeter Forwarding* che applica quando non è possibile applicare il primo. L'utilizzo di due differenti metodi per il forwarding è determinato dalla topologia di rete che si viene a creare lungo la costruzione dei percorsi.

- **Greedy Forwarding:** i messaggi generati dai nodi della rete vengono contrassegnati con la posizione geografica del nodo destinazione e poi vengono inoltrati lungo la rete. Un nodo intermedio che riceve un messaggio e che non è il diretto destinatario, grazie alle informazioni sul vicinato in suo possesso, può calcolare un ottimo percorso locale, cioè, può selezionare un nodo dal suo vicinato che è geograficamente più vicino al nodo destinazione. L'applicazione di questo criterio su tutti i nodi della rete, fa sì che si vengano a creare dei percorsi tra il mittente ed il destinatario con numero minimo di passi.

Come detto precedentemente, in GPSR esiste un semplice *servizio di beaconing* che fornisce ad ogni nodo la posizione dei vicini: periodicamente ogni nodo trasmette un messaggio di beacon in broadcast a tutti gli altri contenente il suo identificatore e la sua posizione geografica. Per evitare sincronizzazioni di messaggi di beacon tra i vari nodi, essi vengono trasmessi in maniera casuale. Se un nodo non riceve nessun messaggio di beacon da un vicino per un intervallo di tempo prestabilito, allora assume che il vicino in questione sia uscito dal raggio d'azione o che non riesca a inviare i messaggi. In entrambi i casi il vicino viene cancellato dalla tabella dei vicini. Se invece riceve un beacon da un nodo allora lo introduce nella tabella dei vicini.

Il Greedy Forwarding è molto semplice e veloce ma non può essere applicato sempre.

- **Perimeter Forwarding:** viene utilizzato per cercare un percorso che avvicini il messaggio verso il nodo destinatario quando non è possibile farlo con il *Greedy Forwarding*. Il *Perimeter Forwarding* usa la regola della mano destra o “*right-hand rule*”: quando ad un nodo arriva un messaggio, il prossimo nodo a cui inoltrerà il messaggio sarà quello a cui si arriva scegliendo l’arco in senso antiorario a partire da se stesso. Questa regola ha la proprietà di attraversare la più piccola regione poligonale chiusa.

Conclusioni

In questa tesi, sono state presentate le reti veicolari mobili, conosciute come VANET. Queste reti sono oggetto di numerosi studi al fine di aumentare, nei prossimi anni, la sicurezza stradale e migliorare la viabilità. Le VANET rappresentano un nuovo ed innovativo sistema di prevenzione di incidenti o collisioni tra veicoli, che andrà ad affiancarsi a tutti quei dispositivi passivi e attivi basati sulla fisica del veicolo che sono stati sviluppati finora, come airbag o barre protettive laterali, ESP e ABS.

Questa tesi vuole sottolineare il ruolo sempre più importante che avranno le reti veicolari e le tecniche per la comunicazione tra veicoli nel prossimo futuro:

- Informazioni per i viaggiatori
- Monitoraggio ambientale
- Servizi meteo o di news

Per questo motivo si è cercato di evidenziare le peculiarità di queste reti e i vantaggi rispetto alle reti mobili attuali (MANET).

È stata dedicata particolare attenzione al problema del routing nelle reti VANET, ed è stata proposta una classificazione dei tipi di protocolli applicabili in base alle loro caratteristiche, fornendo così una panoramica della situazione attuale. Infine, sono stati presentati brevemente alcuni protocolli di routing individuati in letteratura.

In questi decenni si è cercato di sviluppare questa tecnologia ed è auspicabile che questo prosegua. L'obiettivo da raggiungere è l'efficienza e l'affidabilità di queste reti ad-hoc mobili, e questo rappresenta la sfida che, se superata, porterà migliorie ai protocolli qui presentati.

Bibliografia

- [1] J. Wu, I. Stojmenovic, “*Ad Hoc Networks*” in Guest editor’s introduction, IEEE Press, 2004
- [2] S. Corson, J. Macker, “*Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations*” in RFC 2501, Naval Research Laboratory, 1999
- [3] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, “*UMTS networks*”, John Wiley and Sons, 2001
- [4] A.K. Salkintzis, C. Fors, “*WLAN-GPRS integration for next-generation mobile data networks*” in Wireless Communications, 2002, ieeexplore.ieee.org
- [5] S. Merlin, A. Zanella, “*An efficient and adaptive resource allocation scheme for next generation cellular systems*” in Proceedings of WPMC2005, September 18-22, 2005 in Aalborg, Denmark.
- [6] E. Ziouva, T. Antonakopoulos, “*CSMA/CA performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis*” in Computer Communications, 2002, Elsevier
- [7] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, “*Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions*” in Surveys and Tutorials, 2011, ieeexplore.ieee.org
- [8] H. Hartenstein, K.P. Laberteaux, “*A tutorial survey on vehicular ad hoc networks*” in Communications Magazine, 2008, ieeexplore.ieee.org

- [9] E. Fasolo, A. Zanella, M. Zorzi, “*An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular ad Hoc networks*” in Proceedings of ICC 2006, June 11-15, 2006 in Istanbul, Turkey
- [10] J. Yin, T.R. ElBatt, “*Performance Evaluation of Safety Applications over DSRC Vehicular Ad Hoc Networks*” in Proceedings of the first ACM workshop on Vehicular ad hoc networks, Philadelphia, PA, USA, pp. 1-9, ACM Press, 2004
- [11] C. Andersson, “*GPRS and 3G wireless applications: professional developer’s guide*”, John Wiley and Sons, 2001
- [12] T. Imielinski, J. Navas, “*GPS-Based Addressing and Routing*”, RFC 2009, Computer Science, Rutgers University, March 1996
- [13] Andrea Zanella, Gianfranco Pierobon, Simone Merlin, “*On the limiting performance of broadcast algorithms over unidimensional ad-hoc radio networks*” in Proceedings of WPMC04, September 12-15, 2004 Abano Terme (Padova), Italy
- [14] E. Fasolo, R. Furiato, A. Zanella, “*Smart Broadcast algorithm for intervehicular communications*” in Proceedings of WPMC2005, September 18-22, 2005 in Aalborg, Denmark
- [15] J. Broch, D. Maltz, “*Multi-hop wireless ad hoc network routing protocols*” in Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 85-97, 1998
- [16] Y.C. Tseng, S.Y. Ni, “*The broadcast storm problem in a mobile ad-hoc Network*” in Wireless Networks, vol.8, pp. 153-167, 2003
- [17] Y.W. Lin, Y.S. Chen, S.L. Lee, “*Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey and Future Perspectives*” in Journal of Information Science and Engineering, 2010, Taiwan
- [18] F. Li, Y. Wang, “*Routing in vehicular ad hoc networks: A survey*” in Vehicular Technology Magazine, IEEE, 2007, ieeexplore.ieee.org

- [19] Z. Guoqing, M. Dejun, X. Zhong, Y. Weili, “A survey on the routing schemes of urban vehicular ad hoc networks” in 2008. CCC 2008, 2008, ieeexplore.ieee.org
- [20] A.U. Shankar, C. Alaettinoglu, “Transient and steady-state performance of routing protocols: Distancevector versus link-state” in Journal of Internetworking: Research and Experience, pp. 59-87, 1995
- [21] S. Basagni, I. Chlamtac, V.R. Syrotiuk, B.A. Woodward, “A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)” in ACM MOBICOM '98, ACM, 1998, pp. 76-84
- [22] B. Karp, H.T. Kung, “GPSR : Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks”, MOBICOM, Boston, MA, USA, pp. 43-54, 2000
- [23] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Muhlethaler, A. Qayyum et L. Viennot, “Optimized Link State Routing Protocol” in IEEE INMIC, 2001
- [24] E.W. Dijkstra, “A note on two problems in connections with graphs”, Numerical Mathematics, pp. 269-271, 1959
- [25] C.E. Perkins and P. Bhagwat, “Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV)” in Proceedings of ACM SIGCOMM' 94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, 1994
- [26] A.V. Goldberg, T. Radzik, “A heuristic improvement of the Bellman-Ford algorithm” in Applied Mathematics Letters, 1993, Elsevier
- [27] D.B.J. David, A.M.J. Broch, “DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks” in Computer Science Department Carnegie Mellon University Pittsburgh, <http://www.monarch.cs.cmu.edu/>
- [28] D.B. Johnson and D.A. Maltz, “Dynamic source routing in ad hoc wireless networks” in MOBICOM, Tomasz Imielinske and Hank Korth, Eds., vol. 353, Kluwer Academic Publishers, 1996

- [29] C.E. Perkins and E.M. Royer, “*Adhoc On-demand Distance Vector routing*” in Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp. 1405-1413, February 1999
- [30] Z.J. Haas and M.R. Pearlman, “*The Zone Routing Protocol (ZRP) for ad hoc networks*” in IETF Internet draft 1997, <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manetzone-zrp-00.txt>
- [31] S. Giordano and M. Hamdi, “*Mobility Management: The Virtual Home Region*” in Tech. Rep. SSC/1999/037, EPFL-ICA, October 1999
- [32] J. Li, J. Jannotti, “*A Scalable Location Service for Geographic Ad Hoc Routing*” in M.I.T. Laboratory for Computer Science, 2000