دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی کامپیوتر

پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی فناوری اطلاعات (شبکه‌های کامپیوتری)

عنوان:

افزایش کارایی شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر با استفاده از ایستگاه‌های واسط مخابراتی

اساتید راهنما:

دکتر صالح یوسفی

دکتر جمشید باقر زاده

نگارش:

شفیع شریفی

بهمن ۱۳۹۱

فرم شماره ۹

دانشگاه ...

دانشکده فنی مهندسی

بسمه تعالی

تاریخ :

شماره :

پایان‌نامه آقای شفیع شریفی به شماره دانشجویی ۸۹۲۳۵۱۰۱۲ رشته مهندسی فناوری اطلاعات- شبکه‌های کامپیوتری

تحت عنوان : افزایش کارایی شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تاخیر با استفاده از ایستگاه‌های واسط مخابراتی

به تاریخ ۹۱/۱۱/۳۰ و به شماره پایان‌نامه ۹۲۱-۲ف و با رتبه بسیار خوب و نمره ۱۸/۷۵ توسط هیئت محترم داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

ردیف	کمیته دفاع	نام و نام خانوادگی	تاریخ و امضاء
۱	استاد راهنمای اول و رئیس هیات داوران	دکتر صالح یوسفی	۹۱/۱۱/۳۰
۲	استاد راهنمای دوم	دکتر جمشید باقرزاده	
۳	استاد مشاور (در صورت وجود)		
۴	داور خارجی	دکتر جواد نوری نیا	
۵	داور داخلی	دکتر علی دنیوی	
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر رسول شعبانی	

بسم الله الرحمن الرحيم

پروردگارا:

نه می‌توانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست‌های پینه‌بسته‌شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم. پس توفیقم ده که هر لحظه شکرگزارشان باشم و ثانیه‌های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

تقدیم به پدر عزیز

و

مادر مهربانم

خدای را سپاس بی‌پایان که همچون همیشه مرا یاری کرد و از نعمت‌هایش بهره‌مند ساخت تا بتوانم این پایان‌نامه را به انجام برسانم. از جناب آقای دکتر صالح یوسفی که بدون کمک‌ها و راهنمایی‌های روشنگرانه ایشان انجام این کار ممکن نبود، نهایت تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر جمشید باقر زاده دیگر استاد راهنمای بنده که یاریگر بنده در این کار بودند بسیار سپاسگزارم.

چکیده

شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر (DTN) امکان انتقال داده در نواحی خلوت را فراهم می‌سازند، که در این نواحی تأخیر طولانی و قطع و وصل شدن اتصال قابل تحمل است. در شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر، در لحظه ارسال بسته ممکن است که مسیر انتها به انتها موجود نباشد، بنابراین بسته‌ها ممکن است در گره‌های میانی ذخیره شوند و در فرصت مناسب به سوی مقصد هدایت شوند.

سیستم حمل و نقل عمومی ویژگی‌هایی دارد که می‌تواند در شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر مفید باشد. در این سیستم، مسیر حرکت ماشین‌ها از قبل مشخص شده است و عامل‌های این سیستم (مثل اتوبوس‌ها، تاکسی‌ها، مترو و ...) در مسیر مخصوص خودشان حرکت می‌کنند. با داشتن این اطلاعات در مورد مسیرها، ما می‌توانیم تعداد بهینه گره رله که اتصال با تأخیر را تضمین می‌نماید، تعیین کنیم.

در این پایان‌نامه، مسئله پیکربندی بهینه شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر (VDTN) مورد توجه قرار می‌گیرد. بدین منظور ابتدا این مسئله با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مدل خواهد شد. مدل پیشنهادی به طور همزمان هزینه شبکه و تأخیر مسیریابی را حداقل خواهد کرد، بدین معنی که حداقل تعداد گره رله لازم برای تضمین اتصال شبکه را به گونه‌ای قرار می‌دهد که تأخیر مسیریابی حداقل شود. مدل ارائه شده در حالت کلی NP-سخت است و در مقیاس بزرگ قابل استفاده نیست، به همین خاطر در ادامه، الگوریتم‌های تقریب برای حل مدل پیشنهادی مورد توجه قرار می‌گیرند. بدین منظور دو الگوریتم مکاشفه‌ای پیشنهاد شده‌اند که تقریب قابل قبولی از جواب بهینه را نتیجه می‌دهند. در پایان الگوریتم‌های مکاشفه‌ای به همراه الگوریتم ژنتیک روی سیستم اتوبوس‌رانی شهر ارومیه، به عنوان نمونه‌ای از یک شبکه بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر، اعمال خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی، حاکی از تقریب خوب الگوریتم‌های مورد استفاده می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر، سیستم حمل و نقل عمومی، پیکربندی بهینه شبکه، گره‌های رله.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر ۶

۱-۲-۱ معماری و پروتکل بسته ۷

۱-۲-۲ کاربردها ۹

۱-۲-۳ پیاده‌سازی و شبیه‌سازی ۱۰

۱-۳ شبکه‌های بین خودرویی موردی ۱۱

۱-۴ شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر ۱۳

۱-۵ سیستم حمل و نقل عمومی ۱۷

۱-۶ بیان مسئله ۱۸

۱-۶-۱ فرضیه‌ها ۱۹

۱-۶-۲ دستاوردها ۱۹

۱-۷ ساختار پایان‌نامه ۲۰

فصل ۲: پیشینه‌های پژوهشی مرتبط ۲۱

۲-۱ مقدمه ۲۲

۲-۲ مسیریابی در شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر ۲۲

۲-۳ اطلاعات تحرک گره‌ها ۲۴

۲-۴ تبادل داده در شبکه‌های خلوت ۲۷
۲-۵ استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی به عنوان شبکه داده ۲۸
۲-۶ بررسی تغییرات اتصال در شبکه‌های بین خودرویی ۳۱
۲-۷ استفاده از ایستگاه‌های ثابت برای افزایش کارایی شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر ۳۱
۲-۸ نوآوری‌های تحقیق ۳۳

فصل ۳: بررسی تأثیر قرار دادن گره‌های رله ساکن روی کارایی شبکه از طریق شبیه‌سازی ۳۴

۳-۱ مقدمه ۳۵
۳-۲ گره‌های رله ساکن ۳۵
۳-۳ تأثیر گره‌های رله ساکن روی کارایی شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر ۳۷
۳-۳-۱ محیط شهری ۳۷
۳-۳-۱-۱ تنظیمات شبیه‌سازی ۳۷
۳-۳-۱-۲ تحلیل نتایج ۳۹
۳-۴ نتیجه ۴۰

فصل ۴: ارائه مدلی جهت پیکربندی بهینه شبکه VDTN ۴۲

۴-۱ مقدمه ۴۳
۴-۲ تعریف مسئله ۴۴
۴-۲-۱ فرضیه‌ها ۴۴

۴-۲-۲ مدل سیستم ۴۵
۴-۳ مدل‌سازی مسئله ۴۶
۴-۴ مثال ۴۸
۴-۵ روش‌های پیشنهادی جهت حل مدل ILP ۵۱
۴-۵-۱ الگوریتم Max-Degree ۵۲
۴-۵-۲ الگوریتم Min-Fitness ۵۲
۴-۵-۳ الگوریتم ژنتیک ۵۴
۴-۶ ساختار الگوریتم ژنتیک ۵۴
۴-۶-۱ کروموزوم ۵۴
۴-۶-۲ جمعیت ۵۵
۴-۶-۳ تابع برازندگی ۵۵
۴-۶-۴ عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۵۵
۴-۶-۶-۱ عملگر انتخاب ۵۶
۴-۶-۴-۲ عملگر آمیزش ۵۶
۴-۶-۴-۳ عملگر جهش ۵۶
۴-۷ تحلیل پیچیدگی ۵۸
۴-۸ نتیجه ۵۹
فصل ۵: ارزیابی مدل ILP پیشنهادی از طریق شبیه‌سازی ۶۰
۵-۱ مقدمه ۶۱

۵-۲ سناریوی اول: شهر ارومیه ۶۱
۵-۳ سناریوی دوم: شبکه گرید ۶۵
۵-۴ شبیه‌سازی با استفاده از ONE ۷۰
۵-۴-۱ مقایسه جواب بهینه و جواب حاصل از الگوریتم ژنتیک ۷۱
۵-۶ مسیریابی ۷۴
۵-۷ نتیجه ۷۷
فصل ۶: نتیجه‌گیری و کارهای آینده ۷۸
۶-۱ نتیجه‌گیری ۷۹
۶-۲ کارهای آینده ۸۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: گزارش نشست IP روی پرندگان حامل ۳
شکل ۱-۲: پروتکل بسته در پشته پروتکلی ۴
شکل ۱-۳: یک معماری پیاده‌سازی نمونه که نحوه تعامل هدایت‌گر بسته با حافظه، تصمیمات مسیریابی و آداپتورهای لایه همگرایی به منظور بهره‌گیری از پروتکل‌های مختلف جهت تحویل پیام را نشان می‌دهد ۸
شکل ۱-۴: شمایی کلی از شبکه‌های بین خودرویی موردی (VANET) ۱۱
شکل ۲-۱: سیستم ریلی زوریخ ۲۸
شکل ۲-۲: گراف ایستای تشکیل شده در منبع [۴۹] ۲۹
شکل ۲-۳: مثالی از گراف مسیریابی الگوریتم منبع [۵۰] ۳۰
شکل ۳-۱: تبادل داده بین ماشین‌ها به کمک گره‌های رله ساکن واقع در تقاطع راه‌ها ۳۶
شکل ۳-۲: محیط شبیه‌سازی ارومیه به همراه موقعیت گره‌های رله ۳۸
شکل ۳-۳: احتمال تحویل پیام در الگوریتم‌های مختلف ۳۹
شکل ۳-۴: میانگین تأخیر پیام حاصل از الگوریتم‌های مختلف ۴۰
شکل ۴-۱: مثالی از شبکه VDTN ۴۴
شکل ۴-۲: گراف شبکه حاصل از شبکه VDTN شکل (۴-۱) ۴۶
شکل ۴-۳: سیستم حمل و نقل عمومی میلان با اندکی تغییر ۴۹
شکل ۴-۴: مراحل شبیه‌سازی ۵۰
شکل ۴-۵: شبه کد الگوریتم Max-Degree ۵۲
شکل ۴-۶: شبه کد الگوریتم Min-Fitness ۵۳
شکل ۴-۷: ساختار کروموزوم در مسئله پیکربندی بهینه شبکه VDTN با k گره کاندید ۵۵
شکل ۴-۸: شبه کد الگوریتم ژنتیک ۵۷
شکل ۵-۱: نقشه اتوبوس‌رانی شهر ارومیه با در نظر گرفتن ۲۴ مسیر مجزا. در این نقشه گره‌های پایانی که در حاشیه شهر قرار داده شده‌اند، با شش ضلعی مشخص شده‌اند و گره‌های کاندید هم با دایره نشان داده شده‌اند. ۶۲
شکل ۵-۲: همبندی گرید با (الف) ۱ گره کاندید، (ب) ۴ گره کاندید، (ج) ۹ گره کاندید، (د) ۱۶ گره کاندید. در هر همبندی دو نوع مسیر افقی و عمودی وجود دارد که مسیرهای افقی با خط چین و مسیرهای عمودی با خط ممتد نشان داده شده‌اند. ۶۶
شکل ۵-۳: برازندگی بدست آمده توسط جستجوی فراگیر، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم Max-Degree و الگوریتم Min-Fitness ۷۰
شکل ۵-۴: مقدار برازش حاصل از جواب بهینه و جواب الگوریتم ژنتیک با افزایش تعداد اتوبوس‌ها در هر مسیر ۷۲
شکل ۵-۵: میانگین تعداد گام با افزایش تعداد اتوبوس‌ها در هر مسیر ۷۳
شکل ۵-۶: میانگین زمان بافر پیام‌ها با افزایش تعداد اتوبوس‌ها در هر مسیر ۷۳
شکل ۵-۷: احتمال تحویل پیام با تغییر اندازه بافر ۷۴

شکل ۵-۸: میانگین زمان بافر پیام‌ها..... ۷۵
شکل ۵-۹: سربار الگوریتم‌های مسیریابی مختلف ۷۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: مشخصات پروتکل‌های VDTN ۱۶
جدول ۴-۱: نتایج حاصل از اجرای مدل ILP پیشنهادی روی شبکه شکل (۴-۳) ۴۹
جدول ۴-۲: بخشی از فایل مسیریابی مربوط به مثال ۵۱
جدول ۴-۳: پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک ۵۹
جدول ۴-۴: پیچیدگی مدل پیشنهادی و الگوریتم‌های ابتکاری جهت مقایسه ۵۹
جدول ۵-۱: مسیرهای مورد استفاده در سیستم اتوبوس‌رانی شهر ارومیه ۶۳
جدول ۵-۲: نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف روی سیستم اتوبوس‌رانی ارومیه ۶۴
جدول ۵-۳: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مختلف روی همبندی گرید با ۱ گره کاندید (شکل ۵-۲ الف) ۶۷
جدول ۵-۴: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مختلف روی همبندی گرید با ۴ گره کاندید (شکل ۵-۲ ب) ۶۷
جدول ۵-۵: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مختلف روی همبندی گرید با ۹ گره کاندید (شکل ۵-۲ ج) ۶۸
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مختلف روی همبندی گرید با ۱۶ گره کاندید (شکل ۵-۲ د) ۶۹
جدول ۵-۷: پارامترهای شبیه‌سازی ۷۱

فهرست علائم اختصاری

DTN	Delay Tolerant Network
VDTN	Vehicular Delay Tolerant Network
IP	Internet Protocol
DSRC	Dedicated Short-Range Communications
FTP	File Transport Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
HTTP	HyperText Transfer Protocol
ILP	Integer Linear Programming
RTT	Round Trip Time
LP	Linear Programming
RPC	Remote Procedure Call
RMI	Remote Method Invocation
MANET	Mobile Ad hoc Networking
QoS	Quality of Service
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular Ad-hoc Network

فهرست نمادها

نماد	توصیف
$G = (V, E, W)$	گراف G با مجموعه‌ی رئوس V ، مجموعه‌ی یال‌های E و مجموعه وزن‌های W
V_t	مجموعه گره‌های پایانی
V_c	مجموعه گره‌های کاندید
Λ	ماتریس اتصال درخواستی بین گره‌های پایانی
P	مجموعه مسیرها در سیستم حمل و نقل عمومی
π_i	مسیر iام (دنباله‌ای از گره‌ها در V)
d_{mn}	تأخیر لینک مستقیم (m,n)
R_T	تعداد گره‌های کاندید، $R_T = \lvert V_c \rvert$
D_T	حداکثر تأخیر
R_m	متغیر تصمیم‌گیری نشان دهنده انتخاب یک گره کاندید
$\lambda_{mn}^{sd,i}$	متغیر تصمیم‌گیری که مشخص می‌کند ترافیک داده از گره s به گره d روی لینک مستقیم (m,n) از گراف G، از مسیر i استفاده می‌کند یا نه
α	اندازه جمعیت در الگوریتم ژنتیک
β	نرخ نخبه‌گرایی در الگوریتم ژنتیک
γ	نرخ جهش در الگوریتم ژنتیک
δ	تعداد تکرار در الگوریتم ژنتیک

فصل ۱ مقدمه

۱–۱ مقدمه

امروزه، به نظر می‌رسد که اتصال تمام وقت و نامحدود به اینترنت، برای تعداد زیادی از دستگاه‌های متحرک و ساکن، امری ضروری است. با این حال، حقیقت این است که اتصال پیوسته در هر مکان و زمانی، مورد نیاز نیست. بنابراین، تحقیق و راه‌حل‌های فنی بیشتری به منظور غلبه بر عدم اتصال مورد نیاز است، تا امکان ارتباط بین گره‌ها و برنامه‌های کاربردی در سناریوهایی که خرابی رخ می‌دهد و یا تأخیر بالاست را فراهم سازد. شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر[1] [۱]، شبکه‌هایی هستند که امکان ارتباط در سناریوهای خلوت، با اتصالات متناوب، دارای تأخیر طولانی و متغیر، نرخ خطای بالا، نرخ داده نامتقارن و حتی بدون اتصال انتها به انتها را فراهم می‌سازند.

مثالی از این سناریوهای چالش برانگیز شبکه، IP روی پرندگان حامل[2] است که پیشنهادی برای حمل ترافیک پروتکل IP توسط پرندگان مانند کبوترهای خانگی است. IP روی پرندگان حامل که در ابتدا در RFC 1149 شرح داده شد [۲]، در اول آوریل ۱۹۹۰ منتشر شد. با توجه به RFC، دیتاگرام در مبنای شانزده در نواری از کاغذ چاپ شده و این کاغذ با نواری به پای کبوتر بسته می‌شود. پس از دریافت، کاغذ اسکن می‌شود. این ایده توسط گروه کاربری لینوکس برگن[3] پیاده‌سازی شد [۳] که نتایج آن در شکل (۱-۱) ارائه شده است. نه بسته از فاصله ۵ کیلومتر فرستاده شد. هر بسته حاوی یک درخواست پینگ[4] بود و توسط یک کبوتر مجزا فرستاده شد. گزارش نشست[5] نشان می‌دهد که چهار پاسخ با زمان رفت و برگشت بسیار متغیر، به طور متوسط در حدود ۱.۵ ساعت، و نرخ گم‌شدن ۵۵٪ دریافت شد. به طور طبیعی، با این تأخیر بالا و تا حد زیادی متغیر و نرخ گم‌شدن بسته‌ها، پروتکل‌های اینترنت به درستی کار نمی‌کنند و منجر به اتمام مهلت زمانی و لغو ارسال می‌شوند.

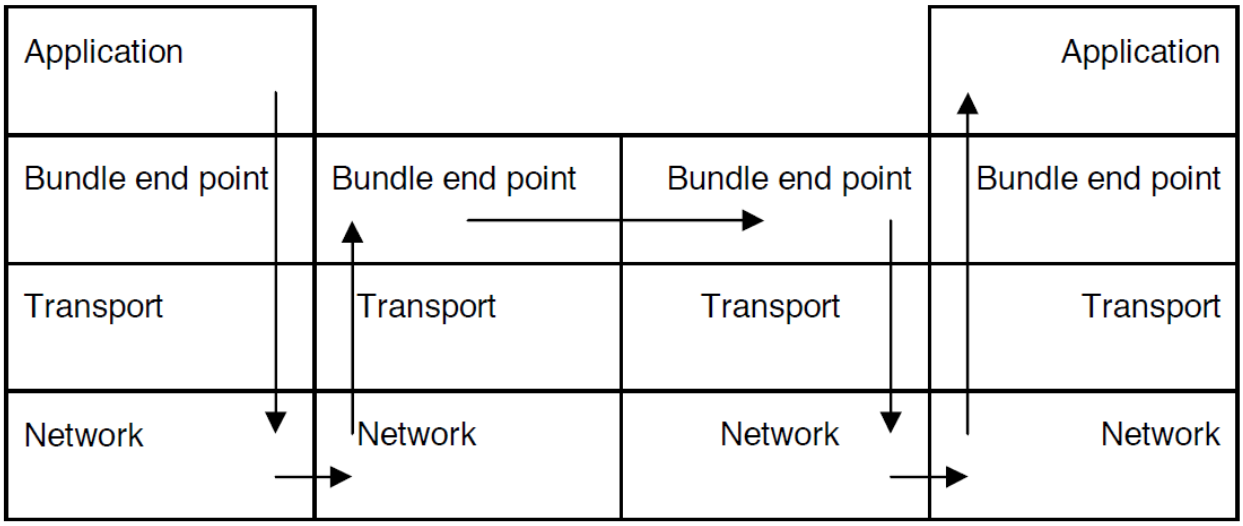
[1] Delay Tolerant Networks
[2] IP over Avian Carriers
[3] Bergen Linux User Group
[4] Ping
[5] Session Log

```
Script started on Sat Apr 28 11:24:09 2001
vegard@gyversalen:~$ /sbin/ifconfig tun0
tun0      Link encap:Point-to-Point Protocol
          inet addr:10.0.3.2  P-t-P:10.0.3.1  Mask:255.255.255.255
          UP POINTOPOINT RUNNING NOARP MULTICAST  MTU:150  Metric:1
          RX packets:1 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:2 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0
          RX bytes:88 (88.0 b)  TX bytes:168 (168.0 b)

vegard@gyversalen:~$ ping -c 9 -i 900 10.0.3.1
PING 10.0.3.1 (10.0.3.1): 56 data bytes
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=0 ttl=255 time=6165731.1 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=4 ttl=255 time=3211900.8 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=2 ttl=255 time=5124922.8 ms
64 bytes from 10.0.3.1: icmp_seq=1 ttl=255 time=6388671.9 ms

--- 10.0.3.1 ping statistics ---
9 packets transmitted, 4 packets received, 55% packet loss
round-trip min/avg/max = 3211900.8/5222806.6/6388671.9 ms
vegard@gyversalen:~$ exit

Script done on Sat Apr 28 14:14:28 2001
```

شکل ۱-۱: گزارش نشست IP روی پرندگان حامل

گروه پژوهشی شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر[1] [۴]، به عنوان بخشی از نیروی کار تحقیقات اینترنت[2]، یک معماری [۵] و یک پروتکل ارتباطی [۶] برای شبکه‌های تحمل پذیر تأخیر پیشنهاد کرده است. در DTN، یک لایه هم‌پوشانی پیام‌گرا به نام لایه بسته[3] اضافه شده است. لایه بسته در بالای لایه انتقال شبکه (شکل (۱-۲)) قرار دارد. هر واحد داده لایه کاربرد، توسط لایه بسته به یک یا چند واحد داده به نام "بسته" تبدیل می‌شود، که توسط گره DTN با توجه به پروتکل بسته فرستاده می‌شود. ایده این است که تمام اطلاعات مورد نیاز برای یک تراکنش با هم در یک بسته قرار داده شوند و بدین صورت تعداد مبادلات رفت و برگشت حداقل شود. این ایده هنگامی که زمان رفت و برگشت بسیار بزرگ باشد، مفید است. برای کمک به تصمیمات مسیریابی و زمان‌بندی، بسته شامل برچسب زمان، نشانگر عمر مفید، یک کلاس از قرارداد خدمات و نشانگر طول است.

[1] The Delay Tolerant Network Research Group
[2] Internet Research Task Force
[3] Bundle Layer



شکل ۱-۲: پروتکل بسته در پشته پروتکلی

پروتکل بسته شامل انتقال قدم به قدم مسئولیت تحویل قابل اعتماد، به نام انتقال حفاظت بسته، و یک تصدیق دریافت اختیاری می‌باشد. هنگامی که گرهی مسئولیت حفاظت از یک بسته را قبول کرد، ملزم به حفظ یک کپی از بسته تا زمانی که چنین مسئولیتی به گره دیگری منتقل شود، می‌باشد. برای کمک به مقابله با وقفه در شبکه، ممکن است در گره‌های DTN، ذخیره سازی مداوم استفاده شود، و پیام‌ها تا زمانی که فرصت تماس رخ دهد، در گره‌ها ذخیره شوند.

شبکه‌های بین خودرویی تحمل پذیر تأخیر، نوعی شبکه تحمل پذیر تأخیر هستند که در آن وسایل نقلیه با یکدیگر و با گره‌های ساکن قرار داده شده در کنار جاده‌ها برای انتشار پیام‌ها ارتباط برقرار می‌کنند. برخی از کاربردهای بالقوه این شبکه‌ها عبارتند از: اطلاع رسانی شرایط ترافیک، هشدار تصادفات جاده‌ای، گزارش آب و هوا (یخ، برف، مه، باد و ...)، تبلیغات (پارکینگ رایگان، قیمت سوخت در جایگاه‌های نزدیک و ...)، اجتناب از برخورد خودروها، دسترسی به وب یا به ایمیل یا حتی جمع آوری اطلاعات گرد آوری شده توسط وسایل نقلیه مانند خرابی آسفالت جاده. همچنین شبکه‌های بین خودرویی برای پیاده‌سازی شبکه‌های گذرا برای بهره‌مند ساختن جوامع در حال توسعه و شبکه‌های بازیابی از فاجعه، پیشنهاد شده‌اند.

به عنوان مثال، یک برنامه telematic مبتنی بر وب، در یک وسیله نقلیه را در نظر بگیرید، که در آن راننده می‌خواهد در هنگام ورود به منطقه‌ای کوهستانی اطلاعات مربوطه را دریافت کند. آیا برف یا سایر شرایط نامساعد آب و هوایی وجود دارد؟ ارزان‌ترین ایستگاه سوخت‌گیری در این نزدیکی کدام است؟ اگر پوشش شبکه سلولی خوب بود، دستگاه telematic در وسیله نقلیه می‌تواند یک درخواست به برخی از سرویس دهنده‌ها ارسال

کند. یک درخواست نمونه، یک زمان رفت و برگشت[1] برای تحلیل نام سرور به آدرس، یک RTT دیگر برای ایجاد ارتباط TCP و نیز یک RTT دیگر برای ارسال درخواست HTTP نیاز دارد. و هنگامی که پاسخ دریافت و تفسیر شد، درخواست‌های دیگر برای بازیابی اشیاء دیگر ارسال می‌شود که نیازمند چندین RTT دیگر و زمان‌های انتقال مربوطه است. سپس این اتصال می‌تواند با RTT دیگری پایان یابد. اگر اتصال به شبکه متناوب باشد، چنین دنباله‌ای از درخواست‌ها و پاسخ‌ها ممکن است هرگز با موفقیت کامل نشود. یک راه حل ممکن، بسته‌بندی پیام درخواست به منظور تحلیل آدرس و دریافت یک‌جای تمام قطعات پیام پاسخ است. این بسته بدون اتصال ارسال می‌شود و با یک RTT، مشکل زمان طولانی RTTها را حل می‌کند. اما پس از آن مشکل پیدا کردن یک مسیر برای انتقال داده‌های انتها به انتها وجود دارد. اگر زیرساخت شبکه در دسترس نباشد، وسیله نقلیه باید پیام را تا زمانی که یک فرصت تماس به وجود می‌آید، با خود حمل کند. این تماس ممکن است با خودروهای دیگر و یا گره‌های زیرساخت باشد. اگر یکی از آن‌ها پاسخی به درخواست اولیه داشته باشد، مشکل حل شده است. اگر هیچ‌یک از گره‌ها پاسخی نداشته باشد، ممکن است هر یک مجبور به بررسی مسیرهای دیگر به مقصد بسته شود. اما اگر چگالی خودرو کم باشد، مسیر انتها به انتها در دسترس نخواهد بود. بنابراین، یک معضل وجود دارد: آیا بسته به این وسیله نقلیه منتقل شود، یا نگه داشته شود و منتظر تماس بهتری بماند؟ یک راهکار جایگزین که باعث افزایش احتمال تحویل و کاهش تأخیر انتقال بسته می‌شود این است که، بسته را انتقال دهیم و یک کپی از آن را نگه داریم. بنابراین، بسته‌های تکراری در شبکه وجود خواهد داشت که باعث مصرف پهنای باند و حافظه گره‌های شبکه خواهد شد. این تکرار، بارها با هزینه و هدف مشابه ادامه می‌یابد که باعث کاهش منابع شبکه می‌شود، و برای کم کردن تأثیر آن باید یک زمان انقضا وجود داشته باشد، تا بعد از سپری شدن آن، بسته حذف شود. هنگامی که بسته به مقصد رسید، یک بسته پاسخ ایجاد شده و برای ارسال آن به مبدأ بسته دریافتی این فرایند دوباره شروع می‌شود. روش ذخیره و هدایت که در شبکه‌های سوئیچینگ بسته استفاده می‌شود، جایگزین دیگری دارد که ذخیره، حمل و هدایت است. در این روش، بسته ممکن است توسط گره های شبکه از یک مکان به مکان دیگر حمل شود، که باعث افزایش بهره‌وری ارتباطات می‌شود. متأسفانه، حمل بسته توسط گره‌های شبکه بسیار کندتر از انتقال آن‌ها است. این الگو اجازه می‌دهد تا در صورتی که تأخیر اضافی قابل قبول باشد، ارتباطات در سناریوهای چالش برانگیز صورت گیرد. به طور طبیعی، حمل و انتقال بسته چندین چالش پژوهشی در پی دارد، به عنوان مثال چه اطلاعاتی باید همراه با هم در یک بسته قرار گیرند؟ چه تعداد کپی از نسخه‌های بسته ایجاد شود؟ کدام بسته باید ابتدا منتقل شود؟ آیا اطلاعات مربوط به زمان گذشته یا حال در مورد مکان و تماس گره‌ها می‌تواند برای کمک به بهبود بهره‌وری استفاده شود؟ چه زمانی باید بسته دور انداخته شود؟ آیا درخواست/پاسخ می‌تواند موقتاً ذخیره شود؟ اگر تماس‌ها به اندازه کافی طولانی نیست، باید بسته قطعه قطعه شود؟ آیا گره‌های دیگر قابل اعتماد هستند؟ چه زمانی باید نام‌ها تحلیل شوند؟

[1] round-trip time