REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES

Faculté de génie électrique

Département d'électronique

Laboratoire : Réseaux de communication, Architecture et multimédia

THÈSE

Présentée par

Guidoum Amina

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème CYCLE

Spécialité: électronique

Option : Réseaux et Mobiles (RM)

THÈME

Optimisation du protocole de routage AODV dans un réseau mobile Ad-hoc par l'introduction de fonctionnalités du protocole LBAR

DEVANT LE JURY

Président	BOUNOUA Abdenacer	**Pr. UDL-Sidi Bel Abbès**
Directeur	BOUKELIF Aoued	**Pr. UDL-Sidi Bel Abbès**
Examinateurs	KECHAR Bouabdellah	**Pr. Université Oran 1**
	CHAMA Zouaoui	**Pr. UDL-Sidi Bel Abbès**

Remerciement

Je remercie DIEU, le tout puissant, qui m'a donné la force, la volonté et surtout le courage
pour accomplir ce modeste mémoire.

Je tiens à remercier particulièrement et chaleureusement Monsieur Aoued Boukhelif, professeur à l'université de sidi bel abbes, pour son encadrement, sa patience, sa présence son dévouement et sa disponibilité à l'élaboration de cette thèse.

Et aussi le Pr Taleb Nassreddine le directeur de notre laboratoire LRCAM pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet, J'aimerai lui adresser mes plus vifs remerciements pour sa disponibilité, ses conseils très précieux.

Je suis reconnaissante envers le Pr BOUNOUA Abdenacer d'avoir présidé le jury.

Je tiens également à remercier le Pr KECHAR Bouabdellah ainsi que le Pr. CHAMA Zouaoui j'ai beaucoup apprécié leur participation au jury.

Mes remerciements vont aussi à tous les membres du laboratoire RCAM pour le cadre de travail.

J'adresse de tout mon cœur mes remerciements à mon père, je lui suis infiniment reconnaissante pour son soutien illimité.

Enfin, ce travail n'a pu atteindre ses objectifs sans la contribution de prés ou loin de plusieurs personnes auxquelles j'adresse mes chaleureux remerciements

Dédicace

A la mémoire de ma défunte mère Benbekrit Aicha,
Je dédie ce modeste travail

Liste d'abréviations

A

ABR : *Associativity Based Routing*
AODV: *Ad hoc On demand Distance Vector*
AODV-SPB*: ad hoc on demand distance*
vector with stable path and balanced
ARPA: *Advanced Research Projects Agency*
ARPANET: *Advanced Research Projects Agency Network*
AQOR : Ad hoc QoS on-demand routing

C

CBR: *Constant Bit Rate*
CBRP: *Cluster Based Routing Protocol*
CDAR: *Core Extraction based Distributed Ad-hoc Routing*
CLAR : *Correlated Load-Aware Routing*
CTS: *Clear To Send*

D

DARPA: *Defense Advanced Research Projects Agency*
DCF: *Distributed Coordination Function*
DSDV: *Dynamic destination Sequenced Distance Vector*
DSR: *Dynamic Source Routing*

E

EMI : *Electromagnetic Interference*
EWMA: *Exponentially Weighted Moving Average.*

I

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*
IERP: *IntErzone Routing Protocol*
IETF: *Internet Engineering Task Force*
IP: *Internet Protocol*
ISO: *International Standarization Organization*

L

LBAQ : *Link availability-based QoS-aware routing*
LBAR: *Load Balanced Ad Hoc Routing*
LAOR : *Load-Aware* routing protocol
LARA : *Load Aware Routing in Ad Hoc*
LBC : *Clustering Load Balancing*
LSR :*Load Sensitive Routing*

M

MAC: *Medium Access Control*
MANET: *Mobile Ad hoc NETwork ok*

N

NTT : *node traversal time*
NAM: *Network Animator*

NAV: *Network Allocation Vector*
NCLBR : *Node Centric Load Balancing RoutingProtocol*
NS: *Network Simulator*

O

OLSR: *Optimized Link State Routing Protocol*

OSPF: Open Shortest Path First
OTCL: *Object Tool Command Language*

P

PCF*: Point Coordination Fonction*
PAN: *Personal Area Network*
PIFA ; *Protocol-Independent Fairness* Algorithm***PRNET*** *:Packet Radio Network*

Q

QOS: *quality of service*
QMRB :*QoS routing with traffic distribution*

R

RERR: *Route ERRor*
RREP: *Route REPly*
RREQ: *Route REQuest*
RIP: *Routing Information Protocol*
RSS: *Received Signal Strength*
RTS: *Request To Send*

S

SIFS :*Short Inter-Frame Space*
SSBR : Signal stability-based adaptive routing

T

TCL: *Tool Command Language*
TCP: *Transmission Control Protocol*
TFTP: *Trivial File Transfer Protocol*
TORA: *Temporary Ordering Routing Algorithme*
TSA:Traffic-Size Aware
TTL: *Time To Life*

الملخص

أعمالنا هي في سياق الشبكات (شبكات المحمول المخصص)؛ شبكة مخصصة هي عبارة عن مجموعة من وحدات متنقلة. الاتصالات بالقفز المتعددة في هذه الشبكة ممكنة من خلال بروتوكولات التوجيه، ومعظم هذه البروتوكولات لا تأخذ بعين الاعتبار توزيع الحمل المروري حيث مشكلة الازدحام أمر مهم جدا، وتحسين توزيع الحمل المروري وتبحث مسارات مستقرة موضوع الكثير من البحوث في السنوات الأخيرة، في واقع الأمر مختلف التقنيات والأساليب، وقد تم ربط .خوارزميات التوجيه لتحسين البروتوكولات الحالية

ونقترح في هذه الأطروحة وحدات جديدة تقوم على توزيع حمل حركة المرور، مما يؤدي إلى استخدام مسارات أقل ازدحاما لتوجيه البيانات وتلبية متطلبات جودة الخدمة. ويتم تنفيذ هذه التقنيات على على بروتوكول AODV والنهج الموجه لجودة الخدمة العديد من المزايا ويفتح الأبواب أمام افكار جديدة.
ويقترح التمديد للبروتوكول AODV_SPB AODV المسمى "مخصص مسار متجه المسافات عند الطلب مع ثابت ومتوازن" كجزء من هذه المذكرة على أساس آلية توزيع الحمل المروري في شبكة المحمول الخاص. وسيلة المحاكاة NS2 يستخدم ل دراسة سلوك البروتوكولات AODV_SPB وAODV ، وتأثيرها على أداء الشبكة من خلال السيناريوهات ومقاييس مختلفة.

Table of Contents

Resume **vii**

Abstract **ix**

1 Introduction **1**
1.1 Contexte de la thèse 1
1.2 But de la thèse 2
1.3 Organisation du mémoire 3

2 les reséaux ad hoc **1**
2.1 Introduction 1
2.2 Définition des réseaux ad hoc : 1
2.3 Caractéristiques des réseaux ad hoc : 2
2.4 Domaine d'application des réseaux mobiles ad hoc 3
2.5 Contrainte de routage dans les réseaux ad hoc 5
2.6 Mobilité réseau 5
2.7 Problème du routage 5
2.8 Les protocoles de routages dans les réseaux ad hoc 6
2.8.1 La mise à jour des informations de routage: 6
2.8.1.1 Routage proactif , réactif et hybride 6
2.8.2 Informations temporelles pour le routage : 7
2.8.2.1 Informations temporelles passées: 8
2.8.2.2 Informations temporelles futures 8
2.8.3 La topologie de routage 8
2.8.3.1 topologie plate 8
2.8.3.2 La topologie hiérarchique 8
2.8.4 Les ressources spécifiques : 9
2.8.4.1 Routage assisté par information géographique: 9
2.8.4.2 Routage prenant en considération la puissance de la batterie: 9
2.9 La couche MAC(Medium Access Layer) 9
2.10 Fonction de coordination distribuée (DCF)802.11 9
2.10.1 Mécanisme du DCF 10
2.10.2 Fonction de coordination de point (PCF) 11
2.11 Les protocoles de routage les plus utilisés 11
2.11.1 DSR (Dynamic source routing) 12

2.11.2 (AODV) Ad hoc on-demand distance vector 12
2.11.3 Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV) 13
2.11.4 Optimized link state routing (OLSR) 13
2.12 Problèmes rencontrés dans ces protocoles 14
2.13 Qualité de service dans les réseaux ad hoc 14
2.13.1 representation generique des MANET pour la QOS 14
2.13.2 Routage avec qualité de service 15
2.13.2.1 Core Extraction based Distributed Ad-hoc Routing(CEDAR) 16
2.13.2.2 Ticket based routing 16
2.13.3 Les protocoles de routage qui supporte la QOS 16
2.13.3.1 Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR) 16
2.13.3.2 QoS routing with traffic distribution (QMRB) 17
2.13.3.3 Link availability-based QoS-aware routing (LBAQ) 18
2.13.3.4 Protocole de routage de multidiffusion QoS pour la mise en cluster de réseaux ad hoc mobiles (QMRPCAH) 18
2.13.3.5 QoS aware multicast routing 18

3 Techniques de répartition de la charge du trafic 21
3.1 Introduction 21
3.2 Classification des protocoles de routage à répartition de charge dans les MANET 22
3.3 Catégorie des techniques de répartition de la charge du trafic 22
3.3.1 Basé sur le délai 23
3.3.2 Basé sur le trafic 23
3.3.3 Hybride 23
3.4 Techniques de répartition de charge 24
3.4.1 Load-balancing in MANET shortest- path routing protocols 24
3.4.2 Load-Aware On-Demand Routing (LAOR) 24
3.4.3 Load-aware destination-controlled routing for MANETs 26
3.4.4 Protocole LSR (Load Sensitive Routing) 27
3.4.5 Routage à charge pondérée (WLAR) 27
3.4.6 Routage ad hoc à équilibrage de charge simple (SLA) 28
3.4.7 Routage corrélé à la charge (CLAR) 28
3.4.8 Équilibrage de charge adaptatif dans les réseaux ad hoc mobiles . . . 30
3.4.9 Une technique d'équilibrage de charge adaptative basée sur la charge de travail pour les réseaux ad hoc mobiles 31
3.4.10 Routage à équilibrage de charge via des chemins virtuels 31
3.4.11 Routage à équilibrage de charge dans les réseaux ad hoc mobiles . . . 32
3.4.12 Routage multi chemin avec équilibrage de charge et QoS dans un réseau ad hoc 33
3.4.13 Protocole de routage d'équilibrage de charge centrique de noeud(NCLBR) 34
3.5 Comparaison entre les algorithmes d'équilibrage de charge 34

4 AODV-SPB **39**
4.1 Introduction . . . 39
4.2 Congestion et stabilité des chemins . . . 40
4.3 Chemin unique VS chemins multiples . . . 43
4.4 fonctionnement natif d'AODV . . . 44
4.5 Approche de réduction de la charge du trafic . . . 45
4.6 La conception du protocole proposé . . . 46
4.6.1 Description du AODV-SPB . . . 47
4.6.1.1 processus de decouverte de route . . . 47
4.6.1.2 calcul du cout du chemin . . . 48
4.6.1.3 Processus de maintenance de route . . . 48
4.6.1.4 Gestion de la connectivité . . . 51
4.7 Les algorithmes . . . 52

5 Evaluation simulation **57**
5.1 introduction . . . 57
5.2 Le simulateur NS2 . . . 58
5.2.1 Architecture du NS2 . . . 58
5.2.2 Installation et Composant du NS2 . . . 59
5.2.3 Principales étapes de simulation NS2 . . . 59
5.2.4 Le concept de deux langues dans NS2 . . . 60
5.2.5 implémentation de l'AODV en NS2 . . . 62
5.2.5.1 Modèle de mobilité . . . 62
5.2.5.2 Les traces NS-2 . . . 63
5.3 Environnement de simulation . . . 63
5.3.1 les métriques d'évaluation . . . 64
5.3.2 modele de trafic CBR . . . 65
5.3.3 Scénarios de simulation . . . 65
5.3.4 Résultats et interprétations . . . 66
5.3.4.1 Comparaison entre AODV et AODV-balanced et AODV-SPB 66

6 Conclusion Générale et perspective **73**

List of Figures

2.1 Modélisation d'un réseau ad hoc[4] 2
2.2 Chemin utilisé dans le routage[6] 6
2.3 Classification des protocoles de routage[16] 7
2.4 mécanisme RTS/CTS du IEEE 802.11 DCF[49] 10
2.5 Formats de paquets pour 802.11[49] 11

4.1 Route Request (RREQ) Message Format[76] 45
4.2 Route Reply (RREP) Message Format[76] 46
4.3 Route Error (ERROR) Message Format[76] 46
4.4 types de messages dans le protocole AODV-SPB 48
4.5 Table de routage du protocole AODV-SPB 48
4.6 Mouvement du noeud 50
4.7 maintenance de route dans AODV-SPB 55

5.1 Architecture de base de NS[66] 58
5.2 Liste des composants dans Ns-2[66] 59
5.3 Architecture des noeuds mobiles[63] 61
5.4 Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Overhead 67
5.5 Les résultats obtenus du scenario 2 concernant la métrique Overhead 67
5.6 Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Overhead 68
5.7 Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Overhead 68
5.8 Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Avg end to end delay 69
5.9 Les résultats obtenus du scénario 2 concernant la métrique Avg end to end delay 69
5.10 Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Avg end to end delay 70
5.11 Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Avg end to end delay 70
5.12 Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Delivery Ratio . . 71
5.13 Les résultats obtenus du scénario 2 concernant la métrique Delivery Ratio . . 71
5.14 Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Delivery Ratio . . 72
5.15 Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Delivery Ratio . . 72

Resume

Nos travaux se situent dans le contexte des réseaux MANETS(Mobile Ad Hoc networks) ; un réseau ad hoc est une collection d'unités mobiles; les communications multi sauts dans ce réseau sont possibles grâce à des protocoles de routage ;la plus part de ces protocoles ne prennent pas en compte la répartition de la charge du trafic où le problème de la congestion est très important, l'optimisation de la répartition de la charge du traffic et la recherche des chemins stable ont fait le sujet de nombreuses recherches ces dernières années, en effet divers techniques et méthodes ont été intégrées aux algorithmes de routage pour optimiser les protocoles existants.

Nous proposons Dans cette thèse de nouvelles métriques basées sur la répartition de la charge du trafic, qui se traduisent par l'utilisation des chemins moins encombrés et plus stables pour l'acheminement des données et répondre aux exigences de la qualité de service. Ces techniques sont implémentés au niveau du protocole AODV, et l'approche orientée à la qualité de service offre de nombreux avantages et ouvre les portes pour de nouvelles idées.

une extension au protocole AODV nommé AODV-SPB ad hoc on demand distance vector with stable path and balanced est proposé dans le cadre de ce mémoire basé sur le mécanisme de la répartition de la charge du trafic dans un réseau .le simulateur NS2 est utilisé pour étudier le comportement des protocoles AODV-SPB et AODV , l'influence sur les performances du réseau via différents scenarios et métriques. .

Mots clés : MANETS, l'équilibrage de charge, congestion, chemin stable, AODV, AODV-SPB, NS2.

Abstract

Our work is in the context of MANETS networks (Mobile Ad Hoc networks); an ad hoc network is a collection of mobile units; the multi-hop communications in the network are possible through routing protocols, most of these protocols do not take into account the distribution of the traffic load where the problem of congestion is very important, the optimization of the balancing load and search stable paths have been the subject of many researches in recent years, indeed, various techniques and methods have been added to the routing algorithms to optimize the existing protocols.

We propose in this thesis new metrics based on the distribution of traffic load, which results in the use of less congested and more stable paths for data routing and meeting the requirements of quality of service. These techniques implemented in the AODV protocol, and the quality of service approach offers many benefits.

An extension to the AODV protocol named AODV-SPB ad hoc on demand distance vector with stable path and balanced is proposed in the context of this thesis. The NS2 simulator is used to study the behavior of the AODV-SPB and AODV protocols, their influence on network performance via different scenarios and metrics.

Keywords :MANETS, load balancing,congestion, stable path, AODV, AODV-SPB, NS2.

1

Introduction

1.1 Contexte de la thèse

Au cours des dernières années, les réseaux sans fil se sont considérablement développés dans les Réseaux de télécommunication or Dans un monde toujours plus interconnecté, le besoin de communiquer librement ne se dément pas ,en effet les réseaux sans fil ont la caractéristique principale de fournir un accès à l'information sans tenir compte de la situation géographique de l'utilisateur et imposent moins de contraintes de déploiement que les réseaux filaires.
Plusieurs normes pour les réseaux sans fil ont été émergées afin de répondre aux besoins des utilisateurs individuels et industriels L'une des principales technologies des réseaux sans fil sont les réseaux mobiles ad hoc [1], Les MANET ont connu leurs débuts aux EtatsUnis autour des années 1970 dans le cadre du programme PRNET (Packet Radio Network) de la DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency).L'objectif initial était de disposer d'un réseau tactique sansfil pour les militaires, susceptible d'être déployé rapidement dans n'importe quel coin du globe sans s'appuyer sur aucune infrastructure fixe.

MANET a été standardisé en 1998/1999 par IETF pour assurer des solutions basées sur la technologie IP pour les réseaux ad hoc, un MANET "Mobile Ad hoc Network " est un réseau sans fil sans infrastructure robuste .
Un MANET peut être formé soit par des noeuds mobiles, soit par des noeuds mobiles et fixes. Les noeuds s'associent aléatoirement les uns aux autres en formant une topologie arbitraire, La communication dans un réseau ad hoc mobile peut se produire directement entre des noeuds mobiles ou via des noeuds intermédiaires agissant en tant que routeurs. Une caractéristique importante des réseaux ad hoc est que les changements dans la connectivité et les caractéristiques de liaison sont introduites en raison de la mobilité des noeuds et la puissance d'énergie des batteries qui est limités.
Une configuration minimale et un déploiement rapide rendent les réseaux ad hoc mobiles adaptés aux situations d'urgence telles que catastrophes naturelles ou humaines, conflits militaires, situations médicales d'urgence, etc., où le réseau filaire n'est pas disponible et où les réseaux ad hoc mobiles peuvent être les seuls moyens fiables pour l'accès aux communications et accès à l'informations.
L'introduction de technologies telles que Bluetooth, Hyper LAN, GPRS, IEEE 802.11 [2],

favorisent également les déploiements MANET. En outre, les réseaux ad hoc mobiles sont de plus en plus amenés à acheminer le trafic des applications multimédia imposant des contraintes de qualité de service. Les ressources limité des réseaux MANETS rendent complexe le support de ces applications multimédia temps-réel : vision conférence téléphonie sur internet qui nécessite des ressources importante, nous focalisons notre étude pour améliorer la qualité de service dans ces réseaux pour répondre aux exigences de ces applications.

L'absence d'infrastructure fixe dans un MANET pose plusieurs types de défis. Le plus grand défi parmi eux est le routage. Le routage est le processus de découverte et de sélection des routes dans un réseau sur lequel les données seront envoyées. Un protocole de routage ad hoc est un standard, qui décrit comment acheminer les données dans un réseau ad-hoc mobile.
Par conséquent, de nombreux chercheurs ont accordé beaucoup d'attention aux problèmes de routage afin de trouver des protocoles de routage fiable plus efficaces pour trouver des routes entre noeuds en fonction de différents critères.

La charge excessive sur les noeuds provoquent la saturation du tampon ainsi les paquets seront supprimés qui est la cause principale des défaillances de liens. Ce qui engendre un retard et une grande perte de temps pour la transmission des données .
Ainsi l'équilibrage de charge est une solution pour éviter la congestion du réseau.

Si la charge du trafic du réseau ad hoc est répartie, cela permettra une utilisation efficace du réseau et réduira le délai de transmission des paquets et améliorera le taux de livraison des paquets ainsi que la qualité de service .
les protocoles de routage existants choisissent le chemin le plus court sans tenir compte de la répartition de la charge du trafic .

L'approche proposée dans cette thèse consiste à intégrer les aspects liés à la répartition de la charge du trafic dans les réseaux ad hoc prenant pour cible le protocole AODV au vu de ses caractéristiques, et résolvant le problème de la congestion par un modèle mathématique .

1.2 But de la thèse

Le but de nos travaux est d'améliorer la qualité de service en minimisant la perte d'informations dans les réseaux ad hoc due à la congestion et à la surcharge et aussi d'optimiser le délai de transmission et d'assurer aussi un acheminement optimal de l'information .
pour répondre aux exigences des applications multi media qui requièrent une transmission en temps réel (telles que la visioconférence..) , comme le MANET est basé sur les communications multi saut, l'influence des protocoles de routage à un grand impact sur ces réseaux , vu que ces protocoles n'assurent pas le routage avec qualité de service , on a choisi le protocole AODV au vu de ses caractéristiques pour l'améliorer et on a introduit les techniques de repartions de charges ,après l'intégration de cette extension au simulateur NS2 , des séries de simulation sous différents scenarios difficiles caractérisés par une forte mobilité et un trafic important ont été faite pour évaluer les critères de la qualité de service .

1.3 Organisation du mémoire

Ce mémoire est organisé en 4 chapitres comme suit :

un chapitre qui définit les réseaux MANETS dans un contexte global et la classification des protocoles de routage.

un chapitre qui décrit les récents travaux sur les techniques de répartitions de charges de trafic dans les réseaux ad hoc , une comparaison est ainsi faite)à la fin de ce chapitre.

un chapitre qui est associé à l'étude du nouveau protocole en détail ; le principe de son fonctionnement.
un chapitre qui se focalise sur la description de l'environnement de simulation, l'intégration du nouveau protocole au simulateur NS2; des interprétations et discussion sur les résultats de la simulation avec une étude comparative et une conclusion.

2

les reséaux ad hoc

2.1 Introduction

Actuellement un réseau ad hoc doit offrir un moyen de communication qui respecte les contraintes qui lui sont imposées par les applications multimédia en temps réel, il doit être déployé rapidement et facilement et la transmission en temps opportun et offrir un débit élevé, ce chapitre a pour objectif d'introduire les concepts et présenter certaines caractéristiques particulières des réseaux ad hoc 802.11 et la notion du routage.

2.2 Définition des réseaux ad hoc :

L'origine du mot "ad hoc " vient du latin signifie "for this only ", dans les réseaux d'ordinateur signifie réseaux sans fil sans infrastructure, ils peuvent être nommés "réseaux spontanés ".
Un réseau ad hoc sans fil se compose d'un ensemble de noeuds mobiles. Un tel réseau n'a pas d'infrastructure fixe mais les noeuds effectuent la fonction du routage en agissant non seulement en tant qu'hôte, mais aussi en tant que routeur transférant des paquets vers d'autres noeuds qui ne se trouvent pas à la portée de transmission sans fil . C'est pourquoi les réseaux ad hoc sont parfois appelés réseaux ad hoc sans fil multi-saut. Le routage ad hoc a été largement étudié au cours des années passées. Plusieurs protocoles ont été développés sous le groupe de travail Mobile Ad hoc Networking (MANET).

Ou Manet est le nom d'un groupe de travail de l'IETF,(d'Internet Engineering Task Force) .Beaucoup de recherches ont également été faites sur la performance des réseaux ad hoc dans différents scénarios. Différentes sortes des mesures ou des caractéristiques peuvent être utilisées pour analyser la performance d'un réseau ad hoc.

Un réseau ad hoc peut être modélisé par un graphe Gt = (Vt,Et) où:
Vt : représente l'ensemble des noeuds (c'est-à-dire les unités ou les stations mobiles) du réseau.
Et : modélise l'ensemble des connexions entre ces noeuds.

La notion de connexion (ou lien) est définie ainsi : Si e = (u,v) appartient à Et, cela veut dire que les noeuds u et v sont en mesure de communiquer à l'instant t.
Le réseau ad hoc est modélisé par un graphe dont les noeuds représentent les stations mobiles du réseau, et une connexion entre deux noeuds signifie qu'à cet instant, ces deux noeuds peuvent communiquer directement (sans passer par d'autres noeuds pour acheminer le message transmis). La Figure 2.1 montre un exemple simple d'un réseau ad hoc, de 10 unités mobiles, modélisé sous forme d'un graphe:

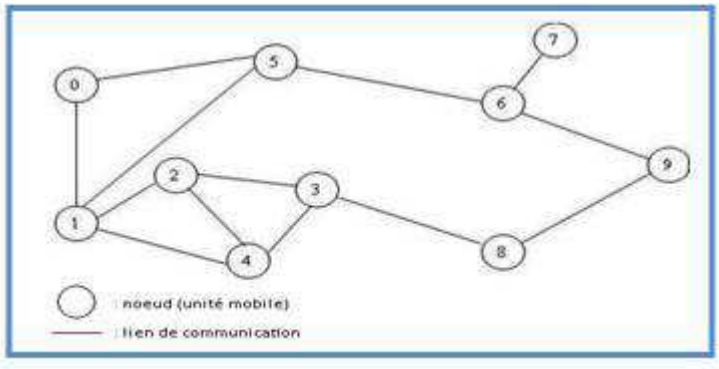


Figure 2.1 – Modélisation d'un réseau ad hoc[4]

2.3 Caractéristiques des réseaux ad hoc :

Divers recherches et survols ont été faits à-propos les applications et caractéristiques des MANET[3][4] , Le groupe de travail MANET a défini certaines propriétés uniques des réseaux ad hoc dans [13]. Les propriétés ne sont pas directement liées aux performances. Cependant, elles décrivent la nature même des réseaux ad hoc et, Dans ce sens, elles formulent les conditions aux limites d'un réseau ad hoc.

Les plus importantes sont abordées et résumées comme suit :

Tolérance aux pannes Du fait l'absence d'un noeud central, un réseau ad hoc continue à fonctionner même si un de ces noeuds tombe en panne.

déploiement facile rapide et économique l'absence d'installation, des stations de bases, câblage .

la mobilité Dans MANET, chaque noeud agit à la fois comme hôte et comme routeur. C'est-à-dire qu'il est autonome dans son comportement.

multi saut quand le noeud de destination est hors portée radio, les MANETS sont capables du routage multi saut.

Auto distribué et organisé l'absence de centralisation chaque noeud participe au bon fonctionnement du réseau.

Contrôle de l'alimentation les noeuds fonctionnent principalement sur la batterie qui fournit une capacité limitée d'énergie. Si une panne de courant se produit dans le noeud, il peut affecter lui-même et l'ensemble de l'architecture du réseau .le taux d'erreur est bien élevé que dans un réseau filaire.

Dynamique la topologie change dynamiquement et ce changement dynamique se produit en raison de la transmission radio et de la mobilité.

Contrôle d'admission adéquat le contrôle d'admission décide si la bande passante disponible est suffisante pour le flux du lien dans les ressources disponibles. Les réseaux Ad hoc fournissant une capacité de bande passante finie peuvent affecter la qualité finale du service.

2.4 Domaine d'application des réseaux mobiles ad hoc

Avec le nombre croissant d'appareils mobiles et l'évolution de la communication sans fil, la technologie de réseau ad hoc gagne du terrain avec le nombre croissant d'applications généralisées.
La mise en réseau ad hoc peut être utilisée n'importe quand, n' importe où. L'architecture de réseau ad hoc peut être utilisée dans les applications commerciales en temps réel par les sociétés et des entreprises pour augmenter la productivité et le profit avec une communication limitée ou inexistante.
Un réseau MANET n'est pas lié à une technologie de communication sans fil particuliere, est indépendant de toute station de base fixe ,et il est aussi adapté pour assurer les communications dans des environnements ou les équipements de transmissions et communications sont absents, ou détruits.
De nos jours, les fabricants d'ordinateurs et de téléphones mettent en oeuvre une technologie ad hoc pour leurs produits.
1-Usage militaire: Il est peut-être regrettable que des réseaux ad hoc aient d'abord été conçus pour être utilisés dans le département militaire [7], Les réseaux ad hoc sont très bien adaptés à ce cas. Par exemple dans un champ de bataille chaque soldat est équipé d'un émetteur. Cependant, l'émetteur a une zone de transmission petite de sorte que chaque soldat peut atteindre seulement quelques autres soldats. Cependant, l'émetteur est conçu pour pouvoir relayer des messages sur un saut ou plusieurs sauts. Ces soldats formeraient un réseau ad hoc. Ce genre de réseau est évidemment plus robuste, plus difficile à intercepter, et adapté au scénario militaire.

2-Réseaux de capteurs sans fil (WSN): Un réseau de capteurs est constitué de plusieurs stations de détection appelées noeuds de capteurs, chacune étant petite, légère et portable. Chaque noeud de capteur est équipé d'un transducteur, d'un micro-ordinateur, d'un émetteur-récepteur et d'une source d'alimentation. Le transducteur génère des signaux électriques basés sur les effets physiques et les phénomènes détectés. Le micro-ordinateur traite et stocke la sortie du capteur. L'émetteur-récepteur reçoit des commandes d'un ordinateur central et transmet des données à cet ordinateur. La puissance pour chaque noeud de capteur est dérivée d'une batterie. On les trouve dans : Le contrôle du trafic aérien, Contrôle de robot, L'automatisation industrielle, Maisons automatisées et intelligentes, Vidéosurveillance, Surveillance du trafic.[11]

3- Mission de secours et d'urgence: Imaginez, la situation après un tremblement de terre lorsque l'infrastructure de communication ne fonctionne plus. Une substitution de l'infrastructure doit être installée pour soutenir l'opération de sauvetage. Il est évident que le réseau installé doit être simple à configurer, facile à installer et à maintenir, et qu'il doit s'adapter à la topologie dynamique pour supporter les changements de nombre et de densité des participants [8]. Les réseaux ad hoc, spécialement les MANET, peuvent supporter ce scénario. Les réseaux ad hoc peuvent être configurés facilement et rapidement. Ils sont conçus pour pouvoir installer un réseau sans infrastructure fixe. Les réseaux ad hoc sont temporels. Dès qu'une nouvelle infrastructure établie dans ce domaine, les réseaux ad hoc peuvent être supprimés facilement.

4-Réseau personnel et Bluetooth : Bluetooth est un réseau local sans fil, qui a une transmission de faible portée (généralement inférieure à 10m ou 100m et appelé piconet), fonctionne dans le spectre sans licence 2,4GHz et n'a pas besoin d'infrastructure ou de câble pour connecter les terminaux.
Un piconet est un réseau ad hoc constitué d'un périphérique maître et de plusieurs périphériques esclaves actifs. [9],[10].
5-Réseaux maillés sans fil (WMN) : se composent de routeurs maillés et de clients maillés, où les routeurs maillés ont une mobilité minimale et forment l'épine dorsale des réseaux WMN.
Ils fournissent un accès réseau pour les clients maillés et conventionnels. L'intégration de réseaux WMN à d'autres réseaux tels qu'Internet, cellulaire, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, réseaux de capteurs, etc., peut être réalisée par l'intermédiaire des fonctions de passerelle et de pontage dans les routeurs maillés. Les clients maillés peuvent être stationnaires ou mobiles et peuvent former un réseau maillé client entre eux et avec des routeurs maillés.
Les réseaux WMN sont censés résoudre les limitations et améliorer de manière significative les performances des réseaux ad hoc, des réseaux locaux sans fil (WLAN) , des réseaux personnels sans fil (WPAN) et des réseaux métropolitains sans fil (WMAN).[12]

2.5 Contrainte de routage dans les réseaux ad hoc

-La mobilité des noeuds qui entraine : la défaillance de routes ; changement fréquent de la topologie du réseau. L'incapacité d'utiliser les protocoles de routage des réseaux filaires.
-la bande passante est une ressource limitée ; les messages de contrôle de la congestion doivent être réduits.
-le canal radio de diffusion est partagé ce qui engendre la collision entre les paquets des noeuds émetteurs, une perte des paquets de routage.
-Imprévisibilité de l'environnement: des réseaux ad hoc peuvent être déployés dans des zones inconnues, les conditions dangereuses et même les environnements hostiles où la destruction réelle d'un noeud peut être imminente. Selon l'environnement, les défaillances de noeudpeuvent se produire fréquemment.

-Manque de fiabilité du média sans fil: la communication via le média sans fil est peu fiable et sujet à des erreurs. En outre, en raison des conditions environnementales variables telles les niveaux élevés d'interférences électromagnétiques (EMI) ou de mauvais temps, La qualité de la liaison sans fil peut être imprévisible.

2.6 Mobilité réseau

Les réseaux ad hoc peuvent avoir différents degrés de mobilité. Dans un réseau avec un haut degré de mobilité, les noeuds se déplacent relativement rapidement, ce qui entraîne une modification rapide de la topologie. Dans un réseau à faible mobilité ou statique, puisque les noeuds se déplacent lentement ou restent stationnaires, la topologie est relativement stable.

2.7 Problème du routage

Les problèmes majeurs dans les réseaux ad hoc sont le routage et les caractères sans fil dans ces réseaux, Chaque noeud a sa propre plage de transmission, si ces petites zones de transmission sont combinées, elles formeront une zone de transmission beaucoup plus grande. Les noeuds transmettent leurs données avec une technique de saut unique ou multiple. Maintenant, un algorithme de routage approprié doit être mis en oeuvre, de sorte que le processus de transmission des données sera plus efficace. Parmi les problèmes du routage on a :

-lien asymétrique: si un noeud 1 peut entendre le signal d'un noeud2, cela ne veut pas dire que, le noeud 2 peut aussi entendre le signal de 1. car le signal de 1 est plus faible, donc 2 ne peut pas entendre le signal de 1. Évidemment, 1 ne peut pas envoyer directement un paquet à 2 , donc 1 doit trouver un détour vers 2. Beaucoup d'algorithmes de routage sont basés sur une connexion symétrique.

-Interférence: contrairement aux réseaux filaires, les réseaux ad hoc n'utilisent pas de câble pour transmettre des données. La transmission de données avec une onde est vulnérable aux interférences.
-La topologie dynamique: les noeuds des réseaux ad hoc peuvent se déplacer librement. Les noeuds peuvent rejoindre ou quitter les réseaux à tout moment. Cette action entraîne la création et la destruction des routes.[6]

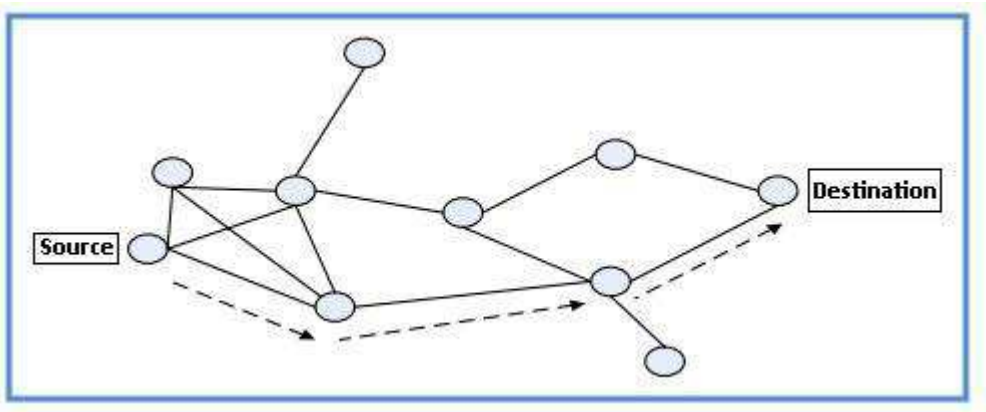


Figure 2.2 – Chemin utilisé dans le routage[6]

2.8 Les protocoles de routages dans les réseaux ad hoc

L'algorithme de routage est un véritable problème dans un réseau ad hoc sans fil. Il existe différents critères pour la conception et la classification des protocoles de routage pour les réseaux ad hoc sans fil. Par exemple, quelles informations de routage sont échangées ?; quand et comment les informations de routage sont échangées ?, quand et comment les routes sont calculées ? [5],[6],[48].

2.8.1 La mise à jour des informations de routage:

2.8.1.1 Routage proactif , réactif et hybride

Les schémas proactifs calculent les routes vers différents noeuds du réseau. Ainsi, les noeuds peuvent utiliser la route quand ils en ont besoin tel que DSDV (Destination Sequenced Distance Vector) , Pendant ce temps, le schéma réactif calculera l'itinéraire, si un noeud veut communiquer avec un noeud de destination (les routes se forment à la demande) comme le protocole AODV (Ad Hoc On Demand Distance Vector) ,DSR (Dynamic Source Routing)

-chaque noeud doit maintenir une ou plusieurs tables pour stocker les informations de routage, et tout changement dans la topologie du réseau doit être reflété par la propagation de mises à jour dans tout le réseau afin de maintenir une vue de réseau cohérente. Ils tentent

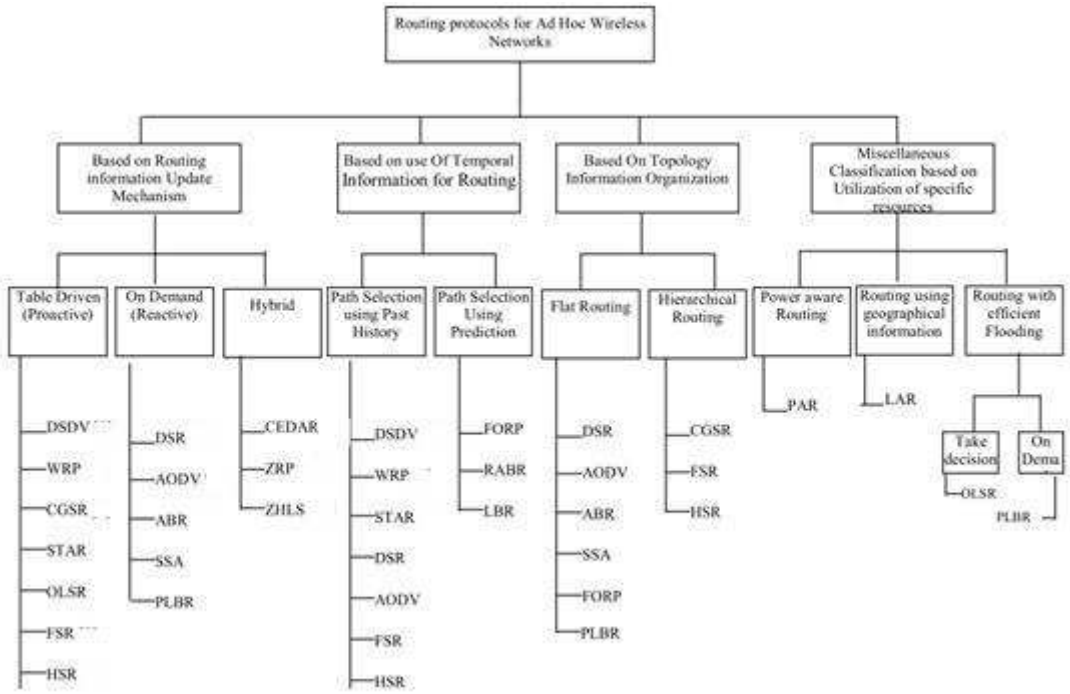


Figure 2.3 – Classification des protocoles de routage[16]

de maintenir des informations de routage cohérentes et à jour de l'ensemble du réseau. Il minimise le retard de communication et permet aux noeuds de déterminer rapidement quels noeuds sont présents ou joignables dans le réseau.

Le routage réactif est également connu sous le nom de protocole de routage à la demande car il ne gère pas les informations de routage ou l'activité de routage sur les noeuds de réseau en l'absence de communication.
Si un noeud souhaite envoyer un paquet à un autre noeud, ce protocole recherche le chemin et établit la connexion pour transmettre et recevoir le paquet. La découverte d'itinéraire se produit en inondant les paquets de demande d'itinéraire dans tout le réseau.
Les protocoles de routage réactif ont moins de surcharge puisque contrairement aux protocoles proactif n'ont pas besoin de sauvegarder tous les chemins existant dans le réseau.
hybride : définissent deux zones ou ils combinent le comportement proactif à l'interieur d'une zone et le comportement réactif entre les zones.

2.8.2 Informations temporelles pour le routage :

Les protocoles qui appartiennent à cette catégorie peuvent être classés en deux types:

2.8.2.1 Informations temporelles passées:

Ces protocoles de routage utilisent des informations sur le statut passé des liens ou le statut des liens au moment du routage pour prendre des décisions de routage. Par exemple, la métrique de routage basée sur la disponibilité de liaisons sans fil avec l'algorithme de recherche de chemin le plus court, fournit un chemin qui peut être efficace et stable au moment de la recherche de chemin.

2.8.2.2 Informations temporelles futures

Les protocoles appartenant à cette catégorie utilisent des informations sur le statut futur attendu des liaisons sans fil pour prendre des décisions de routage approximatives. Outre la durée de vie des liaisons sans fil, les informations d'état futur incluent également des informations sur la durée de vie du noeud(basée sur le taux de charge et de décharge des ressources non rechargeables, la prédiction de la localisation et la prédiction de la disponibilité des liaisons).

2.8.3 La topologie de routage

2.8.3.1 topologie plate

Les protocoles relevant de cette catégorie utilisent un schéma d'adressage plat similaire à celui utilisé dans les réseaux locaux IEEE 802.3. Il suppose la présence d'un mécanisme d'adressage globalement unique (ou au moins unique à la partie connectée du réseau) pour les noeuds d'un réseau sans fil ad hoc. Dans une structure plate, tous les noeuds d'un réseau sont au même niveau et ont la même fonctionnalité de routage. Cette structure est très adaptée aux petits réseaux, mais si les réseaux s'agrandissent, elle ne sera plus efficace. Il faudra beaucoup de temps pour acheminer l'information aux noeuds de destination.

2.8.3.2 La topologie hiérarchique

Les protocoles appartenant à cette catégorie utilisent une hiérarchie logique dans le réseau et un schéma d'adressage associé. La hiérarchie pourrait être basée sur des informations géographiques ou pourrait être basée sur la distance en termes de saut. dans la structure hiérarchique, les noeuds sont organisés en partitions plus petites appelées clusters, et les clusters sont à nouveau regroupés en de plus grandes partitions appelées super cluster et ainsi de suite.

2.8.4 Les ressources spécifiques :

2.8.4.1 Routage assisté par information géographique:

Les protocoles appartenant à cette catégorie améliorent les performances du routage et réduisent la congestion du contrôle en utilisant les informations géographiques disponibles.

2.8.4.2 Routage prenant en considération la puissance de la batterie:

Cette catégorie de protocoles de routage vise à minimiser la consommation d'une ressource très importante dans les réseaux sans fil ad hoc qui est la batterie. Les décisions de routage sont basées sur la minimisation de la consommation d'énergie localement ou globalement dans le réseau.

2.9 La couche MAC(Medium Access Layer)

La norme IEEE 802.11 [51] spécifie la couche physique et le mécanismes de couche d'accès au medium et fournit un débit de données jusqu'à 2 Mbps. Les normes ultérieures IEEE 802.11b et IEEE 802.11a modifient la couche physique partie de la norme et augmente les débits de données maximum à 11 Mbps et 54 Mbps respectivement.
la fonctionnalité de couche MAC de base 802.11 appelée fonction de coordination distribuée (DCF) pour l'accès distribué au support partagé.
la fonction de coordination ponctuelle (PCF) qui fournit un mécanisme de contrôle centralisé de l'accès au canal.
DCF est un choix naturel pour les réseaux ad-hoc, car il n'y a pas de contrôleur centralisé tel qu'un point d'accès. Cependant, le PCF peut prendre en charge les métriques de qualité de service dans les réseaux sans fil à simple transit grâce à sa conception centralisée. Le DCF et le PCF ont été amélioré dans la norme 802.11e conçue pour prendre en charge la qualité de service dans les réseaux WLAN.[49][50]

.

2.10 Fonction de coordination distribuée (DCF)802.11

Le protocole DCF tente de fournir un accès égal (en termes de nombre de paquets) à tous les noeuds qui partagent le canal.Dans un réseau ad-hoc, le débit obtenu par un noeud à l'aide de DCF est en fonction du nombre de voisins qu'il possède et de l'état de ses files d'attente. Puisque le débit des voisins dépend de leurs voisins, la détermination du débit devient un problème global plutôt qu'un problème local. Ainsi, en général dans un réseau ad-hoc utilisant DCF, le débit reçu par un noeud dépend de la topologie entière. et le mécanisme DCF tente de fournir un accès par noeud et non par liaison.

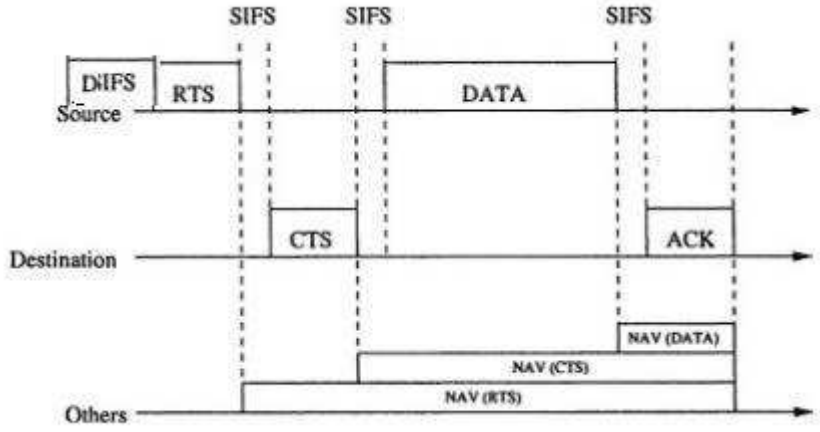


Figure 2.4 – mécanisme RTS/CTS du IEEE 802.11 DCF[49]

2.10.1 Mécanisme du DCF

Chaque noeud qui a un paquet à envoyer sélectionne un slot aléatoire pour la transmission dans lequel la fenêtre de contention est utilisée pour les backoffs. Initialement défini sur l'emplacement choisi, le noeud envoie un paquet de contrôle de couche MAC appelé RTS (request-to-send) au récepteur. Si le récepteur reçoit correctement le RTS et ne diffère pas la transmission, il répond par un message CTS (clear-to-send). Ceci est suivi de la transmission du paquet de données par l'expéditeur, et d'un accusé de réception ultérieur du destinataire, Les transmissions de ces quatre paquets sont séparées par de courtes durées appelées SIFS (Short Inter-Frame Space). Le SIFS permet de commuter le tranceiver entre les modes d'envoi et de réception. La séquence de transmission de ces quatre paquets est illustrée à la Figure 2.4.

L'en-tête MAC de tous ces paquets (voir les structures de paquets de la Figure 2.5) contient un champ "duration" indiquant le temps restant jusqu'à la fin de la réception du paquet ACK. Les noeuds voisins mettent à jour une structure de données appelée NAV (Network Allocation Vector). Cette structure maintient le temps restant pour lequel le noeud doit différer toutes les transmissions.

Si la transmission du paquet échoue, l'expéditeur double sa fenêtre de contention ($cw \leftarrow [2xcw - 1]$) et tente une retransmission. Le nombre de retransmissions est limité à 4 pour les petits paquets (y compris les paquets RTS) et à 7 pour les paquets plus grands (généralement DATA). Si ces décomptes sont dépassés, le paquet de données est abandonné et cw est réinitialisé à cw_{min} Si le paquet de données est livré avec succès, l'expéditeur et le destinataire initialise cw à cw_{min}.[49].

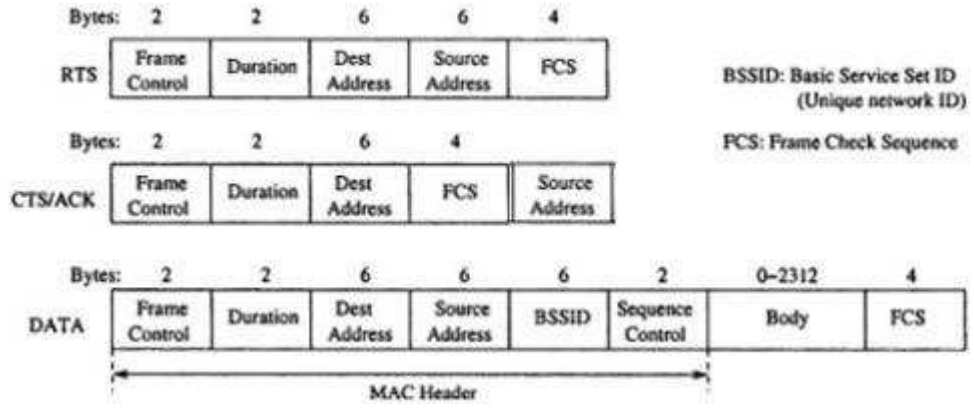


Figure 2.5 – Formats de paquets pour 802.11[49]

2.10.2 Fonction de coordination de point (PCF)

PCF fonctionne dans le mode Infrastructure de 802.11. La norme exige qu'un AP implémentant le mode PCF (période sans contention) doit alterner avec le mode DCF (période de contention). En mode PCF, le point-coordinator (AP) envoie des paquets aux autres noeuds et choisi une liste de noeuds leur donnant l'opportunité de transmettre. Contrairement au mode DCF, en mode PCF, les noeuds ne peuvent émettre que s'ils sont interrogés par le point d'accès(AP). [49].

2.11 Les protocoles de routage les plus utilisés

Les premiers protocoles de routage ad hoc ont été classés en protocoles à la demande et proactif Entre ces deux, plusieurs approches hybrides ont été développées. La taille croissante des réseaux ad hoc considérés a rendu nécessaire l'utilisation de techniques telles que le routage géographique et le routage hiérarchique. Enfin, dans de nombreux déploiements de réseaux ad hoc, le problème de la cogestion prime sur toutes les autres métriques de performance, Vue la diversité des domaines d'application, les chercheurs ont proposé une large gamme de protocoles de routage pour les réseaux ad hoc. Les objectifs de base de ces protocoles sont tous les mêmes: maximiser le débit tout en minimisant la perte de paquets, contrôler la congestion minimiser la consommation d'énergie.

2.11.1 DSR (Dynamic source routing)

est un protocole basé sur le routage dynamique de la source qui fait partie des algorithmes "à la demande" et qui comporte des phases de découverte de route et de maintenance de route.[14]La découverte de route contient à la fois des demandes de route RREQ et des messages de réponse de route RREP. Dans la phase de découverte de route, lorsqu'un noeud souhaite envoyer un message il diffuse d'abord un paquet de demande de route à ses voisins. Chaque noeud ajoute son identifiant au paquet de demande de route et le rediffuse. Finalement, l'un des messages de diffusion atteindra la destination ou un noeud qui a un itinéraire récent vers la destination. Comme chaque noeud maintient un cache d'itinéraire, il vérifie d'abord son cache pour une route qui correspond à la destination demandée. La gestion d'un cache d'itinéraire dans chaque noeud réduit la surcharge générée par la phase de découverte de route. . Si une route est trouvée dans le cache d'itinéraire, le noeudrenvoie un message de réponse d'itinéraire au noeud source. . Le premier paquet qui atteint le noeud de destination aura un chemin complet. DSR suppose que le chemin obtenu est le plus court car il prend en considération le premier paquet pour arriver au noeud de destination. un paquet de réponse d'itinéraire est envoyé à la source qui contient l'itinéraire complet de la source à la destination. Ainsi, le noeud source connaît sa route vers le noeud de destination et peut initier le routage des paquets de données. La source met en cache cette route dans son cache d'itinéraire. Dans la phase de maintenance de route, des paquets d'erreur de route et d'accusé de réception sont utilisés. DSR garantit la validité des routes existantes sur la base des accusés de réception reçus des noeuds voisins que des paquets de données ont été transmis au saut suivant. Un paquet d'erreur de route est généré lorsqu'un noeudrencontre un problème de transmission, ce qui signifie qu'un noeud n'a pas reçu d'accusé de réception. Ce paquet d'erreur d'acheminement est envoyé à la source afin de lancer une nouvelle phase de découverte d'itinéraire. À la réception du message d'erreur d'acheminement, les noeuds retirent de leur caches route l'entrée de la route qui utilise le lien rompu.

2.11.2 (AODV) Ad hoc on-demand distance vector

est un protocole de routage réactif conçu par Charles E. Perkins et Elizabeth M. Royer [15]. Il peut être considéré comme une combinaison des deux protocoles DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) [25] et DSR [14] car il détient de DSR ses mécanismes de découverte et de maintenance de routes "Route Discovery" et "Route Maintenance" ; et de DSDV, son routage par sauts "hop by hop", ses numéros de séquences ainsi que la diffusion des mises à jour des tables de routage. Il est basé sur le principe de routage à vecteur de distance. Au vu de ses caractéristiques, ce protocole est devenu très connu et a fait l'objet d'un grand nombre de recherches. Il est tout à fait adapté aux réseaux mobiles ad hoc de part sa prise en charge de la mobilité des noeuds dans le réseau. Ce protocole permet à des noeuds mobiles d'obtenir des routes rapidement pour les nouvelles destinations, sans maintenir des routes pour lesquelles il n'existe pas de communication active. Ainsi, l'établissement d'une route se fait uniquement en cas de besoin. Si un noeud source veut envoyer des paquets de données vers un noeud destination, il doit établir et maintenir et le chemin choisi est le chemin le plus court avec un minimum nombre de saut comme le chemin optimal sans aucune considération du trafic cela conduit à la dégradation de la performance du réseau. Une route

vers ce noeud destination durant le temps qu'il en fait usage.

2.11.3 Destination-Sequenced Distance-Vector (DSDV)

l'un des premiers protocoles de routage ad hoc. Comme beaucoup de protocoles de routage à vecteur de distance[25] il repose sur l'algorithme de Bellman-Ford. proposé par Perkins et Bhagwat ; Le protocole DSDV exige que chaque station mobile annonce à ses voisins actuels sa propre table de routage, par exemple en diffusant ses entrées. Les entrées de cette liste peuvent changer de manière assez dynamique au fil du temps, la diffusion doit être faite assez souvent pour que chaque noeudpuisse presque toujours localiser tous l'autre noeuddu réseau. relayer les paquets de données à d'autres noeuds sur demande.
La structure de la table de routage pour ce protocole est simple. Chaque entrée de table a un numéro de séquence qui est incrémenté chaque fois qu'un noeud envoie un message mis à jour. Les tables de routage sont périodiquement mises à jour lorsque la topologie du réseau change et se propagent sur l'ensemble du réseau pour conserver des informations cohérentes sur l'ensemble du réseau. Les informations de routage envoyées périodiquement par un noeud contiennent un nouveau numéro de séquence, l'adresse de destination, le nombre de sauts vers le noeud de destination et le numéro de séquence de la destination. Lorsque la topologie d'un réseau change, un noeudde détection envoie un paquet de mise à jour à ses noeuds voisins. A la réception d'un paquet de mise à jour provenant d'un noeud voisin, un noeud extrait les informations du paquet et met à jour sa table de routage.

2.11.4 Optimized link state routing (OLSR)

Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing Protocol)[26] est développé pour les réseaux mobiles ad hoc. Il fonctionne comme un protocole proactif piloté par une table, c'est-à-dire, échange régulièrement des informations de topologie avec d'autres noeuds du réseau. Chaque noeud sélectionne un ensemble de ses noeuds voisins en tant que "relais multipoint" (MPR). En OLSR, seuls les noeuds, sélectionnés en tant que tels MPR, sont chargés de transmettre le trafic de contrôle, destiné à être diffusé dans tout le réseau. Les MPR fournissent un mécanisme efficace pour inonder le trafic de contrôle en réduisant le nombre de transmissions requises. Les noeuds, sélectionnés en tant que MPR, ont également une responsabilité particulière lors de l'affichage des informations d'état de liaison dans le réseau. En effet, la seule exigence pour OLSR de fournir les routes les plus courtes à toutes les destinations est que les noeuds MPR déclarent des informations d'état de liaison pour leurs sélecteurs MPR. Des informations Les noeuds qui ont été sélectionnés comme relais multipoint par un ou plusieurs noeuds voisins annoncent périodiquement cette information dans leurs messages de contrôle. d'état de liaison disponibles supplémentaires peuvent être utilisées, par exemple, pour la redondance.
Dans le calcul de l'itinéraire, les MPR sont utilisés pour former la route à partir d'un noeuddonné vers n'importe quelle destination dans le réseau. En outre, le protocole utilise les MPR pour faciliter l'inondation efficace des messages de contrôle dans le réseau.
la sélection du route par MPR évite automatiquement les problèmes associés au transfert de paquets de données sur des liaisons unidirectionnelles (comme le problème de ne pas recevoir

d'acquittements de couche liaison pour les paquets de données à chaque saut, pour les couches de liaison utilisant le trafic monodiffusion). OLSR est développé pour fonctionner indépendamment des autres protocoles.

2.12 Problèmes rencontrés dans ces protocoles

Voici quelques-uns des principaux problèmes de routage à prendre en compte lors du déploiement de MANET:
Imprévisibilité de l'environnement.
Erreurs de transmission :Le manque de fiabilité du support sans fil etL'imprévisibilité de l'environnement peut conduire à un brouillage des paquets transmis et donc à des erreurs de paquets reçues.
-Échecs de noeud: les noeuds peuvent échouer à tout moment en raison de différents types de conditions dangereuses dans l'environnement. Ils peuvent également abandonner le réseau volontairement ou lorsque leur approvisionnement en énergie est épuisé.
- Échecs de liaison : échecs de noeudet conditions environnementales changeantes (par exemple.,des niveaux accrus d'EMI) peuvent provoquer la rupture des liens entre les noeuds. Les échecs de liaison amènent le noeud source à découvrir de nouvelles routes via d'autres liens.
-Ruptures d'itinéraire : lorsque la topologie du réseau change en raison de défaillances de noeud ou de lien et / ou des ajouts de noeuds ou de liaisons au réseau, les routes deviennent obsolètes et donc Incorrect. Selon le protocole de transport réseau, les paquets transmis via des routes périmées peuvent éventuellement être supprimés ou être retardés.
- Noeuds congestionnés ou liens : En raison de la topologie du réseau et de la nature du protocole de routage, certains noeuds ou liaisons peuvent devenir surutilisés, c'est-à-dire encombrés. Cela entraînera des retards plus importants lors de la transmission ou une perte de paquets.

2.13 Qualité de service dans les réseaux ad hoc

2.13.1 representation generique des MANET pour la QOS

L'hétérogénéité des applications Internet existantes a remis en cause les concepteurs de réseau qui ont construit le réseau pour fournir le meilleur service seulement. La voix, la vidéo en direct et le transfert de fichiers ne sont que quelques applications ayant des exigences très diverses. Des solutions adaptées à la qualité de service (QoS) sont développées pour répondre aux exigences émergentes de ces applications. La qualité de service doit être garantie par le réseau pour fournir certaines performances pour un flux donné, ou une collection de flux, en termes de paramètres QoS tels que le délai, la gigue, la bande passante, la probabilité de perte de paquets, etc.
Malgré les efforts de recherches en cours dans le domaine de la qualité de service, la qualité de service dans les réseaux ad hoc est encore une zone inexplorée. Les problèmes de QoS en

termes de robustesse, de QoS dans les politiques de routage, d'algorithmes et de protocoles avec des priorités multiples, y compris les priorités préemptives, restent à résoudre.
La couche MAC originelle des spécifications 802.11 ne permet pas d'introduire dans le flux une qualité de service , elle est pourtant nécessaire pour le transport de la vidéo et de la voix.
La qualité de service est généralement définie comme un ensemble d'exigences de service devant être satisfaites par le réseau lors du transport d'un flux de paquets d'une source vers sa destination.
Le réseau devrait garantir aux utilisateurs un ensemble d'attributs de service préspécifiés mesurables en termes de performances de bout en bout, tels que le délai, la bande passante, la probabilité de perte de paquets, la variance de retard (gigue), etc. La consommation d'énergie et la zone de couverture sont deux autres attributs de QoS qui sont plus spécifiques aux MANET.
les caractéristiques de ces réseaux rendent le support QoS un processus très complexe.

Fournir QoS dans un tel environnement dynamique est très difficile. Un nombre de Des travaux ont été rapportés sur des sujets de provisionnement QoS dans des réseaux ad hoc dans la section 3.4.et notre protocole proposé dans le chapitre3 .

2.13.2 Routage avec qualité de service

Les métriques QoS d'une route de bout en bout dépendent des liens de la route calculée. Il y a trois défis principaux dans le calcul d'une route satisfaisant les exigences de la QoS, Tout d'abord, la métrique QoS sur chaque lien doit être calculée en continu ou découverte à la demande, lorsque le paquet requete de route est envoyé. Deuxièmement, les algorithmes de routage basés sur la diffusion n'explorent pas toutes les routes possibles. Troisièmement, les mécanismes permettant de calculer la bande passante disponible sur un lien reposent sur l'observation d'autres paramètres tels que la longueur de la file d'attente et l'historique d'accès au canal.
Les réseaux multi-sauts sont de nature dynamique et les transmissions sont susceptibles de subir, des interférences et des collisions provenant de stations cachées / exposées. Ces caractéristiques rendent la tâche difficile de concevoir un algorithme de routage avec QoS pour ces réseaux. Voici les principaux objectifs de conception d'un tel algorithme:
- L'algorithme devrait être très robuste.
- Le calcul d'itinéraire ne doit pas nécessiter la maintenance d'informations globales.
- La route calculée devrait être très susceptible de maintenir la bande passante demandée pour le flux.
- Le calcul de l'itinéraire ne devrait concerner que quelques hôtes, car la diffusion sur l'ensemble du réseau est coûteuse.
- Les hôtes doivent avoir un accès rapide aux itinéraires lorsque les connexions doivent être établies.
Les protocoles AODV et DSR ne supporte pas le routage avec qualité de services)plusieurs recherche ont été élaboré pour intégrer la QOS dans le mécanisme de routage de ses protocoles tel notre amélioration au protocole AODV dans le chapitre suivant.
Plutôt que d'essayer d'intégrer QoS dans le protocole, certains protocoles de routage ont été conçus spécifiquement pour le routage QoS. Nous décrivons deux de ces protocoles, à savoir

CEDAR [52] et Ticket Based Routing [53] dans la section restante.[49][50].

2.13.2.1 Core Extraction based Distributed Ad-hoc Routing(CEDAR)

CEDAR atteint les objectifs de conception pour les réseaux ad hoc petit constitués de dizaines à des centaines de noeuds. Ce qui suit est une brève description des trois composantes clés du CEDAR.
1. Extraction de base: un ensemble d'hôtes est choisi de manière distribuée et dynamique pour former le noyau du réseau en approximant un ensemble dominant minimal du réseau ad hoc en utilisant uniquement le calcul local et l'état local.
2. Propagation de l'état des liens: le routage QoS dans CEDAR est réalisé en propageant les informations de disponibilité de bande passante des liens stables dans le graphe noyau. L'idée de base est que les informations sur les liens stables à bande passante élevée peuvent être connues des noeuds éloignés du réseau, tandis que les informations sur les liens dynamiques ou les liaisons à faible bande passante doivent rester locales.
3. Calcul d'itinéraire: Le calcul d'itinéraire établit d'abord un chemin de base entre le dominateur de la source et celui de la destination.

2.13.2.2 Ticket based routing

Le routage basé sur les tickets est basé sur l'idée de limiter les messages diffusés et de les orienter dans la bonne direction. Le but de cette approche est de sélectionner les routes à partir de celles qui sont testées pour le calcul d'itinéraire. La source a un certain nombre de tickets. Les tickets sont de deux sortes: jaune et vert. Le but des tickets jaunes est de maximiser la probabilité de trouver un chemin possible "chemins avec des délais plus courts ". Le but des tickets verts est de maximiser la probabilité de trouver un chemin à bas coût, où chaque lien est associé à un certain coût. Les tickets verts préfèrent des chemins avec des coûts plus faibles, qui peuvent cependant avoir un délai plus important et ont donc moins de chance de satisfaire l'exigence de délai.
La source initie la decouverte avec un certain nombre de tickets de chaque Couleur. A chaque noeud intermédiaire, une décision est prise quant au nombre de tickets à transmettre. Cette décision est basée sur les métriques de QoS observées du lien. Par exemple, un lien avec un retard plus faible obtient un nombre plus élevé de tickets jaunes par rapport à un autre lien avec un délai plus élevé.[53]

2.13.3 Les protocoles de routage qui supporte la QOS

2.13.3.1 Ad hoc QoS on-demand routing (AQOR)

un protocole de routage à la demande [20] permettant la prise en charge de la qualité de service en termes de bande passante et de délai, Le mécanisme AQOR estime les exigences de bande passante et de délai de bout en bout et utilise ces mesures pour prendre des décisions d'admission et de réservation de ressources. L'AQOR intègre la découverte d'itinéraire sur

demande, les fonctions de signalisation pour les réservations de ressources et le routage saut par saut pour assurer la prise en charge de la qualité de service dans les réseaux ad hoc.
La maintenance de la route est accomplie en envoyant des messages HELLO périodiques.
Les routes sont découvertes sur demande par un mécanisme d'inondation limité. La bande passante demandée et les valeurs de délai de bout en bout sont spécifiées dans le paquet de demande de route. Les besoins en bande passante sont calculés en fonction de la capacité de liaison disponible et de la bande passante utilisée par le flux. Si cette demande est acceptée, le noeudmet à jour sa table de routage avec un statut exploré et la diffuse à tous ses voisins. Cependant, si aucune réponse n'est reçue dans un délai spécifié, l'entrée de route est supprimée de la table du noeudet les réponses arrivant en retard sont simplement ignorées. La mise en cache des routes n'est pas utilisée car les paquets de demande de route sont transférés du noeudà la destination pour déterminer les exigences de la bande passante et de délai de bout en bout. Pour réduire davantage la surcharge de contrôle, les paquets ont un paramètre TTL (time-to-live) qui empêche les paquets de circuler inutilement dans tout le réseau.

2.13.3.2 QoS routing with traffic distribution (QMRB)

L'utilisation d'un backbone de routage mobile pour prendre en charge la QoS dans un MANET [22]. Le backbone de routage mobile (MRB) distribue dynamiquement le trafic dans le réseau et sélectionne la route avec la meilleure QoS entre destination-source. Le schéma proposé classe les noeuds du réseau en noeuds de routage QoS (QRN), noeuds de routage simples (SRN) ou noeuds émetteurs-récepteurs (TN). Les QRN possèdent des garanties QoS, les SRN acheminent simplement les paquets via le réseau tandis que les TN envoient et reçoivent des paquets mais ne peuvent pas les relayer.

La classification des noeuds pour le MRB est calculée par les quatre métriques de support QoS (QSM) pour chaque paire de noeuds.
Static resources capacity (SRC) : Capacité de ressources statiques (SRC): calculée par la somme pondérée de la taille des files d'attente des paquets de noeuds, de la vitesse de la CPU, de la puissance de la batterie et de la bande passante maximale disponible.
Dynamic resources availability (DRA): indique la charge actuelle dans l'utilisation des ressources d'un noeud. Le taux d'utilisation des ressources statiques est utilisé pour calculer les ressources dynamiques disponibles.
Qualité de voisinage (NQ): nombre de noeuds au voisinage d'un noeudqui peut transférer des paquets avec succès.
Qualité et stabilité du lien (LQS): la puissance du signal reçu et les statistiques de la stabilité de ses liens.
La classification des noeuds basée sur les capacités de routage est réalisée en calculant d'abord son aptitude à jouer un rôle spécifique dans le MRB:

$$MN_{aptitude} = \mu SRC + \eta DRA + \sigma NQ + \omega LQS + \theta BW \quad (1)$$

où μ, η, σ, ωet θ sont des coefficients associés respectivement à la capacité statique des ressources du noeud, la disponibilité dynamique des ressources, la qualité du voisinage, la

qualité et la stabilité de la liaison et la bande passante de telle sorte que leur somme soit égale à 1. le DRA a une valeur dynamique qui change en fonction de la charge du noeudalors que le code SRC est statique et est déterminé par les ressources maximales disponibles sur ce noeud.

2.13.3.3 Link availability-based QoS-aware routing (LBAQ)

ce protocole [23]proposé basé sur [24] link availability-based QoS-aware ; vu la mobilité des noeuds , les liaisons sans fil entre noeuds peuvent avoir différentes capacités, fiabilité et la bande passante, etc. Considérer l'impact de la mobilité des noeuds sur les liens, au lieu de prédire directement les modèles de mobilité des liens mobiles, les auteurs de cet article intègrent la disponibilité des liens dans les métriques de routage afin que les liens prédits comme ayant une disponibilité plus élevée soient plus susceptibles d'être choisis.
Pour considérer l'impact de la mobilité sur la qualité de la liaison la méthode utilise l'ETX comme métrique de qualité de liaison et de l'intégrer dans les métriques de routage. Ainsi, les métriques de routage consistent en la disponibilité et la qualité de la liaison en plus de la consommation d'énergie, qui est pour l'efficacité énergétique.

2.13.3.4 Protocole de routage de multidiffusion QoS pour la mise en cluster de réseaux ad hoc mobiles (QMRPCAH)

; QoS multicast routing protocol for clustering mobile ad hoc networks [28] Le protocole QMRPCAH proposé permet à un noeudde conserver uniquement des informations de multidiffusion locales et un résumé d'autres clusters; il ne nécessite pas la connaissance du réseau global, Le protocole prend en charge la QoS pendant les périodes d'encombrement, de rupture de liaison ou de perte de paquets. Dans QMRPCAH, chaque noeudmesure périodiquement le delai sur ses liens et le diffuse aux membres de son cluster. Ainsi, chaque noeudconserve ses tables de routage intra-cluster mises à jour. Les noeuds passerelle maintiennent les tables de routage inter-cluster d'une manière similaire Lorsqu'un noeud-mobile entre dans un nouveau domaine, il utilise une méthode d'abonnement à distance pour s'abonner au nouveau domaine et rejoindre l'arborescence de multidiffusion locale. Lorsqu'un noeudsouhaite joindre une arborescence de multidiffusion, un message JoinReq est transmis au noeudde pont parent. Le pont ajoute sa propre adresse au message et la transmet au noeudde pont de niveau supérieur s'il ne connaît pas l'arborescence de multidiffusion elle-même. Les messages de l'arbre de multidiffusion (MT) sont transférés du noeudde pont supérieur au noeudlocal. QMRPCAH utilise un algorithme d'inondation de sélection initié par le récepteur dans lequel les liens violant les contraintes de bande passante sont supprimés. Les messages inondés évitent également ces liens.

2.13.3.5 QoS aware multicast routing

ce protocole [29]décrit une série d'extensions de QoS au protocole MAODV. L'approche utilise les caractéristiques de délai, de bande passante et de perte de paquets de MAODV. Il intègre également la capacité de routage multicast avec la monodiffusion existante. Un noeud source envoie une requête d'acheminement QoS, RREQ, qui est transmise par des

noeuds intermédiaires jusqu'à ce qu'elle atteigne la destination. La destination renvoie le paquet RREP avec un temps ;delai correspondant à un temps de traversée de noeud prédéfini (NTT node traversal time). Les noeuds intermédiaires ajoutent leurs propres NTT à la valeur de délai et mettent à jour leurs tables de routage. Les routes avec le délai minimum sont sélectionnées pour les transmissions de données. Une technique similaire est appliquée pour l'exigence de bande passante ou les noeuds sources indiquent leurs besoins en bande passante et que les noeuds intermédiaires comparent leur bande passante disponible avant de transmettre le paquet.

3

Techniques de répartition de la charge du trafic

3.1 Introduction

Un défi critique dans la conception de réseaux ad hoc est le développement de protocoles de routage efficaces qui peuvent fournir une communication de haute qualité entre les noeuds mobiles. De nombreux protocoles de routage ont été développés pour les réseaux mobiles ad hoc. Ces protocoles peuvent généralement être classés en tant que routage piloté par table et à la demande [voir chapitre2] Parmi tous les protocoles de routage ad hoc mobiles sans fil proposés, le routage dynamique de source (DSR) et le vecteur de distance ad hoc à la demande (AODV) sont les plus répandus et ont été soumis à l'IETF (Internet Engineering Task Force) [33] pour la normalisation.
Quand on considère le délai de paquet. Il a été montré dans [34] que le délai de bout en bout pour les protocoles AODV et DSR augmente meme si la mobilité nodale est réduite.
En effet, les protocoles de routage des réseaux ad hoc ont tendance à utiliser quelques noeuds "centralisés" sur un grand nombre de routes. Cela provoque une congestion au niveau du contrôle d'accès au support (MAC), ce qui engendre des délais (retard) élevés .De plus, de tels noeuds souffriraient également d'une forte consommation d'énergie de la batterie. Ceci est un effet indésirable, qui est aggravé par la limite de puissance des batteries des noeuds mobiles. En fait, un inconvénient majeur de tous les protocoles de routage ad hoc existants est qu'ils n'ont pas de dispositions pour transmettre la charge d'un chemin pendant la configuration de la route. Par conséquent, ils ne peuvent pas équilibrer la charge sur les différentes routes.
il est essentiel d'utiliser des protocoles de routage efficaces qui fournissent une communication de haute qualité. Il est donc nécessaire de distribuer le trafic entre les hôtes mobiles. Un protocole de routage dans MANET devrait répartir équitablement les tâches de routage .
Une distribution de trafic / charge déséquilibrée entraîne une dégradation des performances du réseau. . En raison de cette nature de déséquilibre, peu de noeuds dans le réseau sont fortement chargés de tâches de routage, ce qui entraîne une grande taille de file d'attente, un délai de paquet élevé, un taux de perte de paquets élevé et une consommation d'énergie élevée. Ce problème a conduit à la solution de l'algorithme de routage d'équilibrage de charge pour MANET.

Ce chapitre décrit les différentes métriques de répartition de charge utilisées et résume les principaux protocoles qui les utilisent. Enfin, une comparaison qualitative des différentes métriques de charge et des protocoles de routage à charge équilibrée est présentée.

3.2 Classification des protocoles de routage à répartition de charge dans les MANET

Divers protocoles de routage ad hoc à charge équilibrée sont des protocoles à la demande; Les stratégies d'équilibrage de charge sont combinées avec la phase de découverte d'itinéraire [44].

1. La charge: le terme charge peut être interprété comme:
Charge de canal: Représente la charge sur le canal où plusieurs noeuds se disputent pour accéder au média partagé.
Charge nodale: se rapporte à l'activité d'un noeud. Plus précisément, il se réfère à l'activité d'un noeud dans le traitement, le calcul, etc.
Charge voisine: Représente la charge générée par les activités de communication entre les noeuds voisins.
2. Les métriques de charge : Les protocoles de routage ad-hoc à charge équilibrée sont basés sur différentes métriques de charge:
-Chemin actif: il s'agit du nombre de chemins de routage actifs pris en charge par un noeud. Généralement, plus le nombre de chemins de routage actifs est élevé, plus le noeudest actif puisqu'il est responsable du transfert des paquets de données.
- Taille du trafic: il s'agit de la charge de trafic présente sur un noeud et de ses voisins associés (mesurée en octets).
- Paquets dans la file d'attente d'interface: il s'agit du nombre total de paquets mis en mémoire tampon sur les interfaces sans fil .
-Probabilité d'accès au canal: Ceci se rapporte à la probabilité d'un accès réussi au média sans fil. Il est également lié au degré de contention des canaux avec noeuds voisins.
-Délai du noeud: il s'agit des délais encourus pour la mise en file d'attente des paquets, le traitement et la transmission réussie.

3.3 Catégorie des techniques de répartition de la charge du trafic

Les protocoles de routage peuvent généralement être classés en trois types (en fonction de leurs techniques d'équilibrage de charge)[44]

3.3.1 Basé sur le délai

où l'équilibrage de charge est atteint en essayant d'éviter les noeuds avec un délai de liaison élevé. Un exemple est, Routage à la demande Load-Aware (LAOR)[27].

3.3.2 Basé sur le trafic

où l'équilibrage de charge est réalisé en répartissant uniformément la charge de trafic entre les noeuds du réseau. Les exemples sont ; Load Balanced Ad Hoc Routing (LBAR)[32], Traffic-Size Aware (TSA)[42]

3.3.3 Hybride

où l'équilibrage de la charge est réalisé en combinant les caractéristiques des techniques basées sur le trafic et les retards. Les exemples sont ; Load Aware Routing in Ad Hoc (LARA)[43]

Et d'autre classification cité dans [45] Les protocoles d'équilibrage de charge sont regroupés en trois catégories en fonction de la stratégie de routage:

— Protocoles de routage à équilibrage de charge à un seul chemin: Au cours de la procédure de découverte d'itinéraire, plusieurs routes principales peuvent être rencontrées, mais une seule, la meilleure, selon un critère, est utilisée pour l'acheminement du trafic tel que LBAR[32], LSR[35] .

— Protocoles de routage d'équilibrage de charge à chemins multiples: Le routage par trajets multiples a été considéré comme une alternative intéressante pour les réseaux ad hoc car il est capable de fournir une tolérance aux pannes. L'utilisation de routes de secours réduit la perte de paquets, prolonge la durée des sessions de communication et renforce la mobilité tel que ; Node Centric Load Balancing RoutingProtocol(NCLBR)[47]

— Protocoles de routage d'équilibrage de charge basés sur la mise en cluster :tel que Clustering Load Balancing (LBC) qui fournit une balance de charge sur les clusterhead sélectionnés , Protocole de Clustering basé sur la logique floue : Le clustering est divisé en trois phases: l'élection de ClusterHead, la sélection de ClusterHead et le transfert de charge d'une ClusterHead à un autre [45].

3.4 Techniques de répartition de charge

3.4.1 Load-balancing in MANET shortest- path routing protocols

Dans cet article [27], des mécanismes d'équilibrage de la charge poussent le trafic plus loin du centre du réseau. De nouvelles métriques de routage qui prennent en compte le degré de centralité des noeuds, pour les protocoles de routage proactif et réactif. Les simulations montrent que les mécanismes proposés améliorent la répartition de la charge et améliorent significativement les performances du réseau en termes de délai moyen et de fiabilité.

3.4.2 Load-Aware On-Demand Routing (LAOR)

un nouveau schéma [30] a été proposé qui utilise le delai du chemin estimé et le nombre de saut comme critère de sélection de chemin. Étant donné que les informations redondantes sur les routages peuvent avoir un impact important sur la performance globale de MANET [31], D-LAOR proposé dispose également d'un mécanisme de sélection d'itinéraire pour éviter un noeud encombré en supprimant sélectivement les paquets Route REQuest (RREQ).

1. **Mesure du delai local** :

   Ou un "time stamp" est placé dans l'entête de chaque paquet, quand le noeud mobile reçoit un paquet. On note a_i ,d_i les temps de transmission et d'arrivé du paquet i^{th}. Apres une transmission reussi du paquet i^{th} au noeud k. le délai moyen de noeud k estimé q_i^k est calculé comme suit :

   $$q_i^k = (1-\beta)q_{i-1}^k + \beta(d_i - a_i) \quad (2)$$
   $$\text{pour } i > 1 \text{ et } 0 < \beta < 1$$

   Le délai total moyen estimé comprend les délais en file d'attente, contention et de transmission. Les auteurs ont supposé que le délai de propagation est négligeable ,et DP comme le délai de propagation total d'un chemin P du noeud1 à n. DP est représenté comme suit:

   $$D_p = \sum_{k=1}^{n} Q_k \quad (3)$$

   où Q_k désigne le delai de noeud total estimé q_i^k du noeud k au temps de la découverte de l'itinéraire.

2. **Découverte et maintenance de l'itinéraire** :

   D-LAOR est une extension au protocole AODV.

   D-LAOR permet aux noeuds intermédiaires de relayer les paquets RREQ dupliqués si le nouveau chemin (P') à la source de RREQ est plus court que le chemin

précédent (P) nombre de sauts, et $DP^{'}$est plus petit que DP (c'est-à-dire, $DP^{'} < DP$).

Chaque noeud met à jour l'entrée de route uniquement lorsque le chemin nouvellement acquis ($P^{'}$) est plus court que le chemin précédent (P) en nombre de sauts, et $DP^{'}$ est plus petit que DP (c'est-à-dire $DP^{'} < DP$).

D-LAOR n'autorise pas les noeuds intermédiaires à générer un paquet RREP vers le noeud source pour éviter le problème avec les informations de délai de chemin périmé.

Lorsqu'un noeud source n'a pas de route valide vers une destination, il initie un processus de découverte d'itinéraire. Le noeudsource diffuse un paquet RREQ à ses voisins, qui mettent alors à jour le délai de chemin total et transmettent ce paquet RREQ à leurs voisins, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la destination soit atteinte.

Le paquet RREQ comporte les adresses de source et de destination, le numéro de séquence, le nombre de saut et le délai du chemin total DP d'un chemin P, que le paquet RREQ a traversé. Au cours du processus de transmission de ce paquet RREQ, les noeuds intermédiaires enregistrent dans leurs tables de routage le délai de chemin DP total du chemin P.
Tous les paquets RREQ en double reçus ultérieurement seront relayés si le nouveau chemin $P^{'}$ a un nombre de sauts plus petit et un delai de chemin plus petit que le chemin précédent (c'est-à-dire, $DP^{'} < DP$).

Une fois que le premier paquet RREQ est arrivé à la destination, le noeuddestinataire répond en renvoyant un paquet RREP au voisin à partir duquel il a reçu le paquet RREQ correspondant. . Si le paquet RREQ dupliqué a un délai du chemin total et un nombre de sauts plus petit que le paquet précédent, la destination envoie à nouveau un paquet RREP au noeudsource pour modifier immédiatement la route.

D-LAOR n'autorise aucun noeudintermédiaire à générer un paquet RREP sauf le noeud de destination car l'enregistrement du noeudintermédiaire du délai d'acheminement vers la destination peut ne pas être précis.

En plus D-LAOR peut router autour d'un noeudencombré et ainsi réduire la congestion de contrôle.Ceci est réalisé en supprimant les paquets RREQ au niveau du noeudcongestionné. ce qui empêche le noeud encombré de devenir un noeudintermédiaire d'un chemin.

D-LAOR détermine le noeud encombré en comparant le délai total estimé du noeudet le nombre de paquets mis en file d'attente dans la file d'attente d'interface de deux noeuds série dans le paquets RREQ. D-LAOR supprime un paquet RREQ

uniquement lorsque les deux conditions suivantes sont remplies simultanément:

Le délai total estimé du noeud A est supérieur à celui du noeud précédent B.

Le nombre de paquets mis en file d'attente dans la file d'attente d'interface du noeud A représente plus de80% de sa taille de mémoire tampon.

3.4.3 Load-aware destination-controlled routing for MANETs

Un nouveau protocole LBAR (Load Balanced Ad hoc Routing) [32] pour la communication dans réseaux ad hoc sans fil est décrit dans ce papier. LBAR définit une nouvelle métrique de routage connue sous le nom de degré d'activité nodale pour représenter la charge sur un noeudmobile. Dans LBAR, les informations de routage de tous les chemins de la source à la destination sont transmises via les messages d'installation à la destination. Les messages d'installation incluent des informations d'activité nodale de tous les noeuds du chemin parcouru. Après avoir collecté des informations sur tous les chemins possibles la destination effectue ensuite une sélection du chemin avec la meilleure valeur de coût et envoie un accusé de réception au noeud source. LBAR fournit également une technique de maintenance de chemin alternatif pour réparer les liaisons rompues en déviant le trafic vers la destination.
LBAR se concentre sur la façon de trouver un chemin qui refléterait le moins de trafic, de manière à ce que les paquets de données puissent être acheminés avec moins de retard. L'algorithme a quatre étapes : Découverte de route; maintenance ; Gestion de la connectivité locale ,Calcul de la fonction de coût .
Ce qui est nouveau dans ce protocole et la fonction du cout ; La fonction de coût est utilisée pour trouver un chemin ayant le moins de trafic, afin que les paquets de données puissent être transmis à la destination aussi rapidement que possible tout en atteignant l'objectif d'équilibrer la charge sur le réseau. Les définitions suivantes sont utilisées:

— Chemin actif : chemin choisi allant de la source à la destination pour router les paquets de données.
— Noeud actif: un noeudest considéré comme actif s'il génère ou transmet des paquets de données ou s'il s'agit d'une destination.
— Noeud inactif: un noeud est considéré comme inactif s'il ne se trouve pas sur un chemin actif.
— Coût: La charge de trafic minimale plus l'interference est proposée comme mesure du meilleur coût.

3.4.4 Protocole LSR (Load Sensitive Routing)

Ce protocole [35] est basé sur le DSR. Ce protocole utilise les informations de charge réseau comme critère de sélection du chemin principal.

Le moyen d'obtenir des informations de charge réseau en LSR ne nécessite pas d'échange périodique d'informations de charge entre les noeuds voisins et convient pour tout protocole de routage existant.

Contrairement à LBAR et DLAR, LSR ne nécessite pas que les noeuds de destination attendent toutes les routes possibles. Au lieu de cela, il utilise une méthode de redirection pour trouver de meilleurs chemins. Le noeud source peut répondre rapidement à un appel de connexion sans perdre la chance d'obtenir le meilleur chemin. LSR peut rechercher dynamiquement de meilleures parties si le chemin actif devient congestionné pendant la transmission de données. Dans la découverte d'itinéraire, ils ont utilisé une méthode de redirection similaire à celle que nous avons développée dans le routage multi chemin pour acheminer les messages de réponse d'itinéraire (RREP). Cette méthode peut permettre au noeudsource d'obtenir un meilleur chemin sans augmenter le coût de l'inondation et attendre le délai dans les noeuds de destination. En LSR, ils adoptent les routes actives dans un itinéraire dans un contexte différent, en utilisant les informations de charge réseau. Lorsqu'un chemin utilisé devient encombré, LSR essaie de rechercher un chemin léger. Le noeudsource continue d'envoyer du trafic de données le long des chemins encombrés jusqu'à ce qu'un meilleur chemin soit trouvé. La stratégie d'adaptation de la route est basée sur l'état initial et l'état actuel d'un chemin actif.

3.4.5 Routage à charge pondérée (WLAR)

Ce protocole [36]sélectionne la route en fonction des informations provenant des noeuds voisins qui se trouvent sur la route vers la destination.

En WLAR, une nouvelle charge de trafic est définie comme le produit de la taille moyenne de la file d'attente de l'interface sur le noeudet du nombre de noeuds partagés déclarés pour influencer la transmission de leurs voisins. Le protocole (WLAR) adopte la procédure AODV de base et le format de paquet. En WLAR, chaque noeuddoit mesurer son nombre moyen de paquets mis en file d'attente dans son interface, puis vérifier s'il s'agit d'un noeud partagé avec son voisin ou non. Si ça S'il s'agit d'un noeudde partage, il doit le faire savoir à ses voisins. Une fois que chaque noeuda sa propre taille de file d'attente de paquets moyenne et le nombre de ses noeuds de partage, il doit calculer sa propre charge de trafic totale.

Lorsqu'un noeud source initie une procédure de découverte d'itinéraire en inondant des messages RREQ, chaque noeudrecevant un RREQ le rediffusera en fonction de sa propre charge de trafic totale, de sorte que les RREQ inondés qui traversent les routes fortement chargées sont supprimés en cours ou au noeudde destination.

Le noeudde destination sélectionnera le meilleur itinéraire et répondra avec RREP. Le nombre moyen de paquets mis en file d'attente dans l'interface est calculé par (EWMA) Exponentially Weighted Moving Average.

La raison d'utiliser le nombre moyen de paquets mis en file d'attente dans l'interface est d'éviter la congestion du routeur. Le noeudpartagé est défini en tant que noeuddont la taille de file d'attente moyenne est supérieure ou égale à une certaine valeur de seuil prédéterminée.
Si la taille de file d'attente moyenne n'est pas supérieure à une valeur de seuil, on suppose que son effet est négligeable à ses voisins. La charge de trafic totale dans le noeudest définie comme sa propre charge de trafic plus le produit de sa propre charge de trafic et le nombre de noeuds partagé.
La charge de chemin est définie comme la somme des charges de trafic totales des noeuds qui incluent le noeudsource et tous les noeuds intermédiaires sur la route, à l'exception du noeudde destination.

3.4.6 Routage ad hoc à équilibrage de charge simple (SLA)

Ce protocole [37]est basé sur l'autonomie de chaque noeud, il réduit la congestion par le mécanisme de répartition de la charge et aussi empêche la consommation excessive de la puissance de la batterie causé par l'envoie des paquets. chaque noeuddétermine s'il est en surcharge si c'est le cas il abandonne l'envoie des paquets. Par conséquent, il répartit uniformément le trafic sur l'ensemble du réseau et prolonge la durée de vie Du réseau ad hoc en faisant en sorte que tous les noeuds MANET consomment leur énergie de manière équitable.
Cependant, il peut y avoir des noeuds "selfish " qui peuvent délibérément abandonner le transfert de paquets pour économiser leur propre énergie, si une compensation appropriée ne leur est pas donnée. Par conséquent, en SLA, un système basé sur le crédit appelé (PIFA ; Protocol-Independent Fairness Algorithm). pour exhorter les noeuds à participer volontairement dans le transfert de paquets est proposé.
Dans les MANET utilisant PIFA, les noeuds gagnent les crédits en transférant les paquets des autres et seulement quand ils ont assez de crédits avec eux, ils sont autorisés à générer des paquets. PIFA peut détecter et isoler le noeud malveillant , qui essaie de tromper les autres sur le nombre de paquets à transférer pour acquérir plus de crédits qu'il ne devrait réellement en recevoir.
SLA n'est pas conçu comme un protocole de routage entièrement nouveau, mais comme une amélioration des protocoles de routage ad hoc existants tels que AODV, DSR, etc.

3.4.7 Routage corrélé à la charge (CLAR)

un nouveau protocole CLAR (Correlated Load-Aware Routing) [38]qui considère la charge de trafic, à travers et autour des noeuds voisins, comme la métrique de sélection de routage principale : la charge de trafic sur un noeudest considérée comme la métrique de sélection d'itinéraire principale , et cet charge dépend du trafic passant par ce noeud ainsi que le trafic dans les noeuds voisins, et mathématiquement La charge de trafic dans un noeudest ainsi définie comme le produit de la taille moyenne

de la file d'attente au niveau du noeudet du nombre de noeuds de partage, La taille moyenne de la file d'attente est calculée avec la methode (EWMA : exponentially weighted moving average) des longueurs de file d'attente précédentes. L'avantage d'un EWMA est de filtrer la congestion transitoire au niveau du routeur ,Une moyenne mobile exponentiellement pondérée est un filtre passe-bas et l'équation de celle-ci est la suivante:

$$avg = (1 - w_q)avg + w_q q \ (\ 4)$$

Le q est la taille de la file d'attente actuelle et avg est l'estimation de la file d'attente moyenne. Le poids ($w < 1$) détermine la constante de temps du filtre passe-bas.

si est trop grande, la procédure de calcul de la moyenne ne filtrera pas la congestion transitoire à la passerelle. D'un autre côté, si w_q sa valeur est trop basse, la moyenne réagit aussi lentement aux changements dans la taille réelle de la file d'attente. Le calcul de la taille de la file d'attente moyenne peut être implémenté efficacement quand w_q est une puissance (négative) de deux. La valeur 0,2 pour w_q est recommandé pour représenter un nombre plus récent de paquets dans une file d'attente.

CLAR est un protocole de routage à la demande et se compose de deux phases: Découverte de route et maintenance la route. La plupart des fonctionnalités de découverte et de maintenance des routes dans CLAR sont héritées du protocole (AODV) car CLAR est une extension de AODV. CLAR hérite de tous les avantages d'AODV en plus de la capacité d'équilibrage de charge.

-L'utilisation de messages Hello dans un CLAR est modifiée pour permettre aux noeuds mobiles d'échanger leurs informations de partage de charge (SL). Lorsqu'un noeud envoie un message Hello, il informe ses voisins s'il s'agit du noeud de partage ou non.

- CLAR ne permet pas aux noeuds intermédiaires de générer un paquet RREP au noeud source pour éviter de fournir des informations de charge de chemin instable, Cette interdiction garantit l'utilisation des informations de chargement récentes.
- CLAR permet aux noeuds intermédiaires de prendre en charge les trajets multiples disjoints. Si le noeud intermédiaire reçoit des paquets RREQ dupliqués, ce qui inclut une charge de chemin inférieure à celle du chemin dans les précédents RREQ reçus, il rediffuse le RREQ reçu au lieu de le supprimer. Bien que ce mécanisme puisse augmenter la charge de routage, il permet à la destination de choisir la route optimale.
- le noeud de destination doit sélectionner le meilleur chemin entre les chemins multiples car CLAR prend en charge les chemins multiples entre la source et la destination.
- Lorsque le RREQ atteint le noeudde destination, il sélectionne le chemin ayant la plus petite somme parmi les chemins multiples comme étant le meilleur itinéraire.
S'il existe un ou plusieurs itinéraires ayant la même charge de trafic, la destination

sélectionne l'itinéraire avec le moins nombre de saut de distance.

3.4.8 Équilibrage de charge adaptatif dans les réseaux ad hoc mobiles

Ce mécanisme [39] est basé sur le protocole de routage multi-chemins et la prédiction du trafic du reseau ad hoc.
PALB se localise au noeud source et son objectif est de minimiser l'encombrement du trafic et le déséquilibre de charge en répartissant de manière adaptative le trafic entre plusieurs disjoints chemins basés sur la prédiction du trafic Le noeudsource prédit périodiquement le trafic croisé de chaque noeuddans les multiples chemins disjoints et ajuste la distribution du trafic sur plusieurs chemins disjoints. Les paquets de données entrent d'abord dans un modèle de filtrage de paquets dont l'objectif est de faciliter le transfert de trafic entre plusieurs chemins d'une manière qui réduit la possibilité que les paquets arrivent à la destination dans le désordre. Dans PALB, une méthode de filtrage par flux est utilisée. Le modèle de distribution de paquets distribue ensuite le trafic provenant du modèle de filtrage de paquets sur les multiples chemins. La distribution du trafic est basée sur un modèle d'équilibrage de charge qui décide quand et comment transférer le trafic parmi les chemins multiples. Le modèle d'équilibrage de charge fonctionne sur la base de l'évaluation de la stabilité des trajets et de la mesure des statistiques de trajets.
Le modèle d'équilibrage de charge se compose de trois phases:

(a) balancing off: lorsque les chemins sont instables.
(b) balancing-on : lorsque les chemins sont stables.
(c) détection de déséquilibre.

Dans la phase balancing-off si les chemins deviennent stables, ils passent en phase balancing-on . Dans la phase balancing-on l'algorithme d'équilibrage de charge tente de égaliser les mesures de congestion entre plusieurs chemins. La mesure de congestion du chemin est une fonction de la charge du trafic de chemin. Une fois les mesures égalisées, la phase se déplace vers la phase de détection du déséquilibre.
En phase de détection de déséquilibre, s'il est détecté que les mesures de congestion sont inégales, la phase revient en phase balancing-on. Dans les phases de détection d'équilibrage et de balancing-on , si les chemins deviennent instables, elles passent à la phase balancing-off. SubsectionL'approche d'équilibrage de charge dans les réseaux Ad-Hoc une nouvelle approche a Eté proposée appelé : Simple Load-balancing Ad hoc Routing (SLAR) [40] basé sur l'autonomie de chaque noeud, qui peut ne pas être la solution optimisée pour l'ensemble du réseau, mais peut réduire la congestion engendré par l'équilibrage de charge et empêcher la consommation excessive d'énergie des batteries. SLAR est indépendant des protocoles de routage unicast des reseaux ad hoc.la technique est que chaque noeuddétermine s'il souffre ou non de la concentration du trafic, il essaie de réduire la charge de trafic en abandonnant certains paquets. Pour ce faire, le noeudabandonnant change son état en GIVE-UP et envoie GIVE-UP

message au noeudsource pour l'avertir de découvrir une nouvelle route déviant le noeudd'abandon.
dans le message GIVE-UP ,le noeud source et la liste des destinations dont les routes traversent le noeudd'abandon sont spécifiées, lorsque la source reçoit le message GIVE-UP, elle lance le mécanisme de découverte d'itinéraire vers les destinations spécifiées. Le noeud"abandon" ignore les messages "RREQ" reçus tant qu'il est dans l'état GIVE-UP. En faisant cela, toute nouvelle route passant par le noeudd'abandon sera empêchée d'être établie, de sorte que le trafic passant à travers le noeudd'abandon sera finalement réduit. SLAR peut être implémenté en tant que modules supplémentaires aux protocoles de routage existants et est indépendant de tout protocole de routage ad hoc.

3.4.9 Une technique d'équilibrage de charge adaptative basée sur la charge de travail pour les réseaux ad hoc mobiles

Une nouvelle technique d'équilibrage de charge pour les protocoles de routage ad hoc à la demande est présentée dans [41] . Dans le nouveau schéma, les messages RREQ sont transmis sélectivement en fonction de l'état de charge de chaque noeud. Les noeuds surchargés n'autorisent pas la mise en place de communications supplémentaires afin qu'ils puissent être exclus des chemins demandés dans une période spécifique. Chaque noeudcommence à autoriser des flux de trafic supplémentaires chaque fois que son statut surchargé a changé. Le nouveau schéma utilise l'occupation de la file d'attente d'interface et la charge de travail "workload " pour contrôler les messages RREQ de manière adaptative. Chaque noeud maintient une valeur de seuil, qui est un critère de décision de répondre ou non à un message RREQ. La valeur de seuil change dynamiquement en fonction de l'état de charge d'un noeudbasé sur l'occupation de la file d'attente d'interface et de sa charge de travail dans une période spécifique.
Le nouveau schéma permet à un noeudde transférer RREQ de manière sélective. Chaque noeud maintient une valeur de seuil. Cette valeur de seuil est un critère pour décider d'envoyer ou de supprimer le message RREQ. Ainsi les noeuds surchargés sont exclus des nouveaux chemins demandés. La valeur de seuil est initialement fixée à une valeur prédéterminée. La valeur de seuil change en fonction de l'état de charge d'un noeud.

3.4.10 Routage à équilibrage de charge via des chemins virtuels

schéma de routage hautement adaptatif et efficace pour les réseaux sans fil ad hoc [42] l'Équilibrage de charge basé sur la taille du trafic en nombre de paquets. Une méthode plus précise consiste à mesurer la taille du trafic en octets. Le noeudmaintient une entrée pour chaque chemin virtuel actif. Cette entrée contient l'heure à laquelle l'entrée a été créée, le nombre de paquets et la taille de trafic qui a été routé en

utilisant cette entrée. Dans ce schéma, les noeuds du réseau gardent trace de la taille du trafic (en octets) en cours de routage. Les noeuds sont conscients de la taille du trafic qui est acheminé à travers leurs voisins. Pour tout chemin constitué de plusieurs sauts, la métrique de charge est calculée, qui est la somme de tout le trafic acheminé à travers tous les sauts qui composent ce chemin.

3.4.11 Routage à équilibrage de charge dans les réseaux ad hoc mobiles

un nouveau protocole appelé LARA (Load Aware Routing en Ad hoc) a été presenter dans cet article [43] pour une transmission efficace des données dans les réseaux ad hoc mobiles. LARA définit une nouvelle métrique pour le routage appelée densité de trafic pour représenter le degré de contention au niveau de la couche de contrôle d'accès au support. Durant la découverte de la route, cette métrique est utilisée pour sélectionner l'itinéraire avec la charge de trafic minimale.
Ce protocole nécessite que chaque noeudmaintient un enregistrement des dernières "traffic queue estimations" à chacun de ses voisins dans une table appelée la table de voisinage. Cette information est recueillie au moyen de deux types d'émissions. Le premier type d'émission se produit lorsqu'un noeudtente de découvrir l'itinéraire vers un noeud de destination. Ce type de diffusion est appelé demande de route. Le deuxième type de diffusion est la diffusion de paquets hello. Dans le cas où un noeudn'a envoyé aucun message à l'un de ses voisins au cours d'une période de temporisation prédéfinie, appelée l'intervalle Hello, il diffuse un message Hello à ses voisins. Un paquet Hello contient l'identité du noeudémetteur et son statut de "Traffic queue". Les voisins qui reçoivent ce paquet mettent à jour les informations de charge du voisin correspondant dans leurs tables de voisinage.
Si un noeudne reçoit pas des données ou un message hello de certains de ses voisins pendant un temps prédéfini, il suppose que ces noeuds se sont retirés de la portée radio de ce noeudet change sa table de voisinage en conséquence. Un message provenant d'un nouveau noeudest également une indication du changement d'information de voisinage et est traité de manière appropriée.
"Traffic queue " : d'un noeud est définie comme la valeur moyenne de la longueur de la file d'attente d'interface mesurée sur une période de temps. Pour le noeud i; il est défini comme la moyenne de N échantillons sur un intervalle d'échantillon donné.

$$q_i = \sum_{k=1}^{n} q_i(k) \quad (5)$$

Ou $q_i(k)$ est le kième échantillon de la longueur de la file d'attente et q_i est la moyenne de ces N échantillons. Plus la valeur de N est grande; meilleure est l'estimation du trafic.
Traffic density : La densité de trafic d'un noeudi est la somme de "trafic queue " q_i du noeud i plus "traffic queues " de tous ses voisins.

$$Q_i = \sum_{\forall j \in N(i)} q_j \quad (6)$$

où $N(i)$ est le voisinage du noeud i et q_j est la taille "Traffic queue " au noeud j. $Q(i)$ est la somme du "Traffic queue " de tous les voisins du noeud i plus celle du noeud i lui-même. Coût de la trafic : est défini comme la somme des densités de trafic à chaque noeuds et des coûts de saut sur cette route.
LARA est un protocole à la demande et le processus de découverte d'itinéraire est similaire à celui de DSR seulement pour la selection des routes candidates, la destination détermine le coût du trafic de la route. L'itinéraire avec une valeur minimale de coût de trafic est sélectionné. La route sélectionnée représente la route dans laquelle les paquets subissent le moins de conflit au niveau MAC et, par conséquent moins de delai et une faible interférence.

3.4.12 Routage multi chemin avec équilibrage de charge et QoS dans un réseau ad hoc

Dans cet article [46] un couplage entre un protocole de routage multipath avec un mécanisme d'équilibrage de charge en fonction de QoS, le resulat un nouveau protocole appelé QLB-AOMDV (QoS et Load Balancing-AOMDV), une solution pour atteindre une meilleure répartition de la charge en respectant la QoS en terme du delai de bout en bout.
Pour le protocole AOMDV ,il sélectionne l'itinéraire avec le moins nombre de saut pour transférer les données. Cependant, les routes moins encombrées peuvent fournir un delai de bout en bout court que les routes qui fournissent un nombre de saut inférieur.
Pour choisir les routes les moins congestionnées, une nouvelle métrique qui permet au noeud source de sélectionner les routes moins encombrées. cette métrique qui réalise l'équilibrage de charge entre les routes sélectionnées selon l'équation suivante:

$$\min[\frac{1}{n_p}\sum_{i=1}^{n_p}(buffersize(i))] \quad (7)$$

Où buffer_size(i) est la taille de l'occupation du buffer du lien i traversant un noeud intermédiaire participant à la route p. La division avec np sauts, formant la route p, garanti que la métrique prend en compte le nombre de saut pour estimer la charge de trafic.

La maintenance de la route est similaire à AOMDV.
Des extensions de QoS ont été ajoutés au protocole AOMDV qui inclut des paramètres de délai et de débit au message RREQ et le but de ses rajouts que Chaque noeud dans le réseau puisse estimer sa qualité de liens avec ses voisins de saut.
Pour construire le protocole LB-AOMDV, la redéfinition de la structure du paquet RREP en ajoutant un nouveau champ appelé buffer_size qui prend en compte la charge de trafic sur le route. Lorsqu'un noeud intermédiaire reçoit un paquet RREP, il incrémente le nouveau champ avecla taille de l'occupation de son buffer. D'un autre côté, lorsque la source reçoit le paquet RREP, elle divise la valeur du champ buffer_size par le nombre de saut de chaque route entre la source et la destination

afin d'avoir le niveau d'encombrement.et grâce à l'algorithme de calcul de niveau de congestion entre la source et la destination, la route la moins encombrée est choisi.

3.4.13 Protocole de routage d'équilibrage de charge centrique de noeud(NCLBR)

Ce protocole [47]est similaire au fonctionnement d'AODV. La plupart des opérations sont similaires à AODV en dehors des changements mineurs au format des paquets RREQ et de ses diffusion à travers le réseau. Il existe trois rôles distincts pour les noeuds dans le protocole NCLBR, à savoir, les noeuds terminal, jonction et normal. Les noeuds terminaux sont les noeuds qui sont connectés au reste du réseau via une seule liaison, en d'autres termes, ils n'ont qu'un noeud voisin. Les noeuds de jonction sont ceux qui connectent deux segments de réseau distincts. Cette distinction est purement basée sur leur situation géographique. En NCLBR, chaque noeudprend l'initiative d'éviter la congestion, Puisque dans un environnement MANET, il est toujours probable qu'il y aura des routes alternatives vers une destination particulière. Chaque noeud est responsable de détourner la congestion de lui-même vers d'autres routes alternatives qui peuvent exister dans le réseau. L'objectif principal de NCLBR est d'éviter la création de nouvelles routes à travers un noeudencombré. Chaque noeud obtient son état d'encombrement actuel à partir de la taille de la file d'attente d'interface. Chaque noeudutilise une taille de file d'attente d'interface de 60. Pendant l'opération, une taille de file d'attente de 50 est considéré comme le seuil de congestion. Lorsqu'un noeudremarque que le seuil d'encombrement a été atteint, il commence automatiquement à ignorer les nouveaux paquets RREQ afin de ne pas laisser passer de nouvelles routes . Par conséquent, l'équilibrage de charge est atteint.

3.5 Comparaison entre les algorithmes d'équilibrage de charge

Le protocole	Critère de choix de route	catégorie	Extension du protocole	Type de chemin	Avantages Du protocole	Limites du protocole
LAOR [30]	Estimation du délai total de chemin et du nombre de sauts	Basé sur delai	AODV	Multi chemin	Reduit le delai de bout en bout ,et augmente le taux de livraison de paquet	La congestion existe
LBAR [32]	Degré d'activité nodal	Basé sur le trafic	DSR	Chemin unique	Destiné aux applications sensibles au delai.reponse rapide à l'echec du lien	
LSR [35]	Informations sur la charge réseau	Basé sur le trafic	DSR	Chemin unique	LSR ne nécessite pas d'échange périodique d'informations de charge entre les noeuds voisins.	Aucune considération pour le trafic en rafale ou le trafic transitoire
WLAR [36]	La charge totale du trafic	Basé sur délai	AODV	Multi chemin	-Répartition uniforme de la charge sur les chemins -Évite l'influence du trafic en en explosion	-la congestion des paquets RREQ.
SLA [37]	La charge du trafic du noeud	Basé sur le trafic	AODV +DSR	Chemin unique	-prolonge la durée de vie du réseau -empêche la consommation excessive de la puissance de la batterie	
CLAR [38]	LA Charge du trafic à travers et autour des noeuds voisins	Basé sur le trafic	AODV	Multi chemin	-reduit la congestion grace a son mecanisme et aussi reduit les messages de controle. puisque il interdit au noeuds intermédiaires de generer des RREP au noued source	N'est pas performant dans un réseau à forte mobilité
PALB	Prédiction	Basé	AODV	Multi	-la répartition de	Afin de

SLAR [40]	Load	Basé sur le trafic	AODV +DSR	Chemin unique	SLAR peut être implémenté en tant que modules supplémentaires aux protocoles de routage existants et est indépendant de tout protocole de routage ad hoc.	Les noeuds mobiles peuvent abandonner les paquets de transfert pour économiser leur propre énergie
WBALB [41]	Interface de la file d'attente et la charge de travail	Basé sur le trafic	AODV	Multi chemin	Les noeuds surchargés n'autorisent pas la mise en place de communications supplémentaires afin qu'ils puissent être exclus des chemins demandés dans une période spécifique.	La détermination de la valeur de seuil correcte est difficile dans un environnement dynamique
TSAR [42]	Taille du trafic, à travers et autour des noeuds de réseau	Basé sur le trafic	VPR (Virtual path routing)	Multi chemin	Une méthode plus précise consiste à mesurer la taille du trafic en octets. TSA distribue le trafic entre les noeuds du réseau de manière à éviter la création de zones fortement congestionnées	Ne garantit pas l'utilisation d'informations de charge actuelles
LARA [43]	Densité du trafic et coût du trafic	Basé sur le trafic	DSR	Chemin unique	Distribue uniformément la charge sur tous les noeuds du réseau, ce qui améliore les performances. ce protocole permet une meilleure sélection de route basée sur la densité du trafic et le coût du trafic, ce qui conduit à de meilleures performances que LAOR et DSR	

4

AODV-SPB

4.1 Introduction

Actuellement, les protocoles de routage ad hoc manquent de capacités d'équilibrage de charge et, par conséquent, ils ne parviennent pas à fournir de bonnes performances surtout en présence d'un volume important de trafic, ou un protocole de routage est amélioré pour satisfaire les exigences des applications utilisateurs sensibles à un paramètre comme le délai, la bande passante , la gigue, dans ce travail , nous sommes amenés à améliorer la qualité de service en minimisant les retards pour satisfaire les utilisateurs qui s'intéressent aux délai de transmission des données.
Lorsque les exigences deviennent supérieures à la capacité maximale de la liaison de communication.par exemple plusieurs hôtes essayant d'accéder à un support partagé ; la congestion se produit dans le réseau, et peut être causé dans les conditions suivantes:

— Lorsque la charge du lien dépasse la capacité transportée due à certains liens défaillants causé par la mobilité des noeuds ce qui engendre, certains noeuds sont inactif ,e la charge du trafic est concentrée sur une zone particulière.

— Quand les paquets de contrôle de diffusion sont en surplus dans le réseau.

Selon l'article [54] aussi Quand le nombre de noeud augmente, la congestion dégrade les performances de ce réseau tel que le débit , le nombre de paquets perdus ,la conservation d'énergie la plus part des protocole ne prennent pas en considération la surcharge , la congestion :les problèmes suivant seront rencontrés ,une forte surcharge veut dire plus de communication et de traitement sont nécessaire pour trouver un nouveau chemin, si le routage à chemin multiple est utilisé alors de beaucoup de messages de contrôle et d'efforts pour maintenir les différents chemins multiple
Comme les réseaux ad hoc n'ont pas un contrôle centralisé pour la répartition de la charge plusieurs approches ont été proposées voir le chapitre précédant, ceux basé sur le delai et autres famille basé sur le trafic et autre catégorie hybride.
L'équilibrage de charge vise à déplacer le trafic de zones surchargées pour les zones moins chargées de sorte que le réseau obtient les meilleures performances. donc

l'équilibrage de charge devient l'un des sujets les plus importants, alors on a proposé une amélioration du protocole AODV [15] avec une méthode efficace de répartition de la charge du trafic qui est basée sur la catégorie "based-traffic " Combiné avec une technique de prédiction de défaillance de chemin cité dans le chapitre précédant .

4.2 Congestion et stabilité des chemins

Plusieurs approches ont été proposées pour résoudre le problème de la congestion , qui dégradent les performances des réseaux ad hoc MANETS[72], si le reseau a beaucoup de chemins défaillants ; d'autre seront plus surchargés ce qui risque la perte d'informations ,par la suite du chapitre on a essayé de prédire la rupture des chemins et lancer la maintenance de route du protocole AODV ;divers travaux dans ce contexte pour trouver des chemin stables , or la stabilité de lien est une métriques de mobilité qui a déjà été analysées, et il a été prouvé qu'il existe une relation entre la durée de vie du lien et la congestion dans un reseau ad hoc [61]. Vu que l'objectif de cette thèse est d'intégrer les caractéristiques des protocoles LBAR et atteindre les exigences de la qualité de service, plusieurs mécanismes ont été rajouté pour trouver des chemins stable ainsi la charge du trafic sera reparti sur tous le réseau on cite quelque travaux :

— Associativity-based routing (ABR) :L'algorithme ABR [17] considère que la métrique de la stabilité de route comme facteur important dans la sélection de route . Les routes sont découvertes en diffusant un paquet de requête de diffusion. En utilisant ces paquets, la destination prend connaissance de toutes les routes possibles entre elle et la source. L'algorithme ABR maintient un "degré d'associativité" en utilisant un mécanisme appelé "ticks d'associativité ". Chaque noeud maintient une valeur de "tick " pour chaque voisin, qui augmente d'un 1 à chaque fois un message HELLO est reçu du noeudvoisin, Une fois que la valeur du "tick " atteint une valeur de seuil spécifiée, cela signifie que la route est stable. Si le voisin est hors de la porté de transmission, la valeur du "tick " est remise à zéro. Une fois la destination a reçu les paquets de requête de diffusion, elle doit décider quel chemin sélectionner en vérifiant l'associativité des noeuds. La route avec le plus haut degré d'associativité est sélectionnée car elle est considérée comme la plus stable des routes disponibles.

— Signal stability-based adaptive routing (SSBR) son algorithme de routage [18] est basé sur la stabilité du signal et de l'emplacement. Comme dans d'autres protocoles de routage à la demande, la demande de route est diffusée sur tout le réseau, la destination répond avec le message de réponse de route, puis l'expéditeur envoie des données via la route sélectionnée.
De plus, la force du signal entre noeuds voisins joue un rôle majeur dans le processus de sélection de route dans ce protocole. SSBR se compose de deux sous-protocoles: le protocole de routage dynamique (DRP) et le protocole SRP

(Static Routing Protocol).
DRP interagit avec le pilote de périphérique d'interface réseau via une API pour déterminer la puissance réelle d'un signal reçu. En utilisant cette information de signal, le DRP maintient une table de stabilité de signal qui catégorise chaque lien avec les noeuds voisins comme fort ou faible. Cette table est mise à jour avec chaque nouveau paquet reçu.
Par exemple, si un paquet HELLO est reçu, la force du signal est surveillée et la table de stabilité du signal est mise à jour bien que pour les autres paquets comme les paquets de mise à jour de route, les paquets de données, etc. Le SRP exécute les tâches de routine telles que le transfert de paquets en fonction de la table de routage existante, la réponse aux demandes de routage.
Si la demande de route ne spécifie que des liens forts, tous les paquets de demande de route provenant d'un lien plus faible perçu sont supprimés. Ainsi, le dernier chemin découvert ne comporte que des liens forts. S'il y a plusieurs chemins de la source à la destination en utilisant des liens forts, la destination peut choisir parmi ceux-ci (ou choisir simplement le premier chemin qu'elle reçoit). Ainsi le mécanisme de sélection de route se fait de la manière suivante : la force de liaison est ajoutée pour chaque saut dans le paquet de demande de route, puis transmise vers la destination. Dans ce cas, la destination ne sélectionne pas le premier paquet de demande d'acheminement reçu, mais attend une période de temps pour choisir la meilleure route parmi toutes les demandes d'acheminement dans un intervalle de temps défini.

— Routage préemptif dans les réseaux ad hoc L'algorithme [19] génère un avertissement préemptif lorsque la puissance du signal reçu est en dessous d'un seuil préemptif prédéfini Et tente d'initier le processus de découverte d'un itinéraire alternatif juste avant l'échec du chemin probable. Le problème dans cet algorithme est de fixer une valeur pour le seuil , Si la valeur est trop élevée, des avertissements inutiles peuvent être générés, ce qui peut entraîner une congestion dans le réseau, Si la valeur est trop faible, le chemin se brise , Cela laisse une courte période de temps pour construire un autre chemin. L'algorithme utilise des paquets de "requête" successifs pour décider si les avertissements générés sont valides.

— Les auteurs M.ali chérif , M. K. Feraoun and S. B. Hacene : dans ce papier [55] un nouveau protocole a été proposé nommée LB-PAODV qui est basé sur la combinaison de deux nouvelles métrique : la qualité du lien et MAC_OVERHEAD et un mécanisme réseau inter couche entre la couche MAC et routage par l'échange des messages et l'utilisation de la variable XMIT RESEAN HIGH RSS pour distinguer entre deux situations si la défaillance des liens est du à la mobilité ou à la congestion.
Pour le mécanisme proposé pour le contrôle de congestion dans LO-PPAOMDV ils ont implémenté une approche inter couche qui suit le RSS des paquets reçus de chaque noeudvoisin pour connaitre quand un noeudest assez proche pour la transmission et la technique de prédiction de défaillance de lien basé sur l'interpolation de Lagrange pour estimer quand un lien actif va échoué.

Et pour l'extension MAC quand un noeud essaye de communiquer avec un noeudvoisin et cette communication échoue après plusieurs tentative la couche MAC envoie erreur à cette couche le protocole interprète que le noeudvoisin n'est plus proche et que l'échec de la communication est du à la mobilité. Selon ce papier dans un scenario sans mobilité l'échec de communication peuvent surgir , dans AOMDV [21] l'echec communication est du à la congestion.

— Bisengar, M. Rziza and M. Ouadou : ont proposés dans [56] un protocole AM_AODV "adaptative mobility aware ad hoc on demand distance " dérivé du protocole AODV afin de réduire la mobilité et la congestion et minimiser les messages de contrôle pour trouver un chemin plus stable qui sera choisi selon la distance, le poids , la vitesse relative, la longueur de la file et le nombre de saut, le modèle de mobilité "two ray ground "[3] a été utilisé vu qu'il donne plus de prédiction de la puissance du signal à une distance longue que les autres modèles. L'algorithme de découverte de route est modifié un cout est rajouté au paquet RREQ contenant la fonction du poids.et ce protocole.

— Sujuta Mallapur dans "Predictive preemptive ad hoc on demand multipath distance vector routing protocol " [57] décrit une approche basée sur la prédiction de défaillance de route et un nouveau mécanisme de maintenance de route, Quand un noeudlance la recherche de chemin pour acheminer les paquets de données , le processus de découverte de route est déclenché ;la source envoie un paquet RREQ le noeudrécepteur calcul la puissance reçu du paquet et la compare avec une valeur de seuil si elle est inferieur ce paquet sera supprimé et envoie un paquet ALERTE au noeudexpéditeur du paquet et ce noeudannule la route.La même chose pour les paquets de données :le calcul de la puissance reçu du paquet au niveau du noeudrecepteur ,si elle est inferieur un paquet RRER est envoyé à la source, le mécanisme de maintenance de route est implémenté pour réparer le chemin défaillant ou pour trouver une nouvelle route quand tous les chemins échoues.
— S.H. Boukli, A. Lehireche, and A. Meddahi, dans [58] ont proposés plusieurs schémas pour améliorer les performances du protocole de
routage par l'utilisation de la prédiction de la mobilité et minimisation des messages inutiles et répare les chemins avant leur echec ,la formule de l'interpolation de Lagrange pour mesurer la puissance ,ainsi le noeudaprès réceptions des puissances de signaux avec leurs temps estime approximativement la valeur de la puissance et la compare avec la valeur (-81dB) si elle est inferieur un message alerte est envoyé au noeud prédécesseur, et lance le processus de réparation du lien pour trouver un chemin alternatif pour atteindre la destination utilisant le lien vers le noeud qui a envoyé le message alerte.
— en [59] A. Boukerche and L. Zhang présente un protocole de routage preemptive pour les réseaux mobiles ad hoc qui décrit une technique préemptive lance la découverte de chemin à l'avance et avertit la source avant l'échec du chemin par l'échange des messages HELLO "le processus ping-pong " quand la valeur de la puissance des paquets reçu est inferieur à une valeur du seuil, le noeud envoie à ses voisins un messages HELLO appelé ping , les noeuds voisins doivent répondre

avec un paquet pong dans un délai, si le noeuds ne reçoit pas le message pong un message alerte est envoyé à la source, une fois le message alerte reçu, le noeud source lance la redécouverte .La découverte a l'avance est accomplie par la collecte d'information sur les liens actives.

— En [60] Mu-qing WU, Yan ZHEN, Da-peng WU proposent un protocole nommée "ODLDE " pour on 'demand routing protocol based on link duration estimating 'fiable qui estime la durée de vie des liens avec précision à l'aide des points de références par la méthode de la valeur moyenne d'interception et la réception en continue de la puissance des signaux par la méthode d'interpolation de Newton et les résultats de la simulation ont montré que la durée de vie du lien peut être prédite indépendamment du modèle de mobilité, et le principe de fonctionnement de ce protocole dérivé du protocole AODV que chaque noeud construit une table indexé par les adresses des noeuds voisins, la durée de vie du lien entre le noeudet son voisin, la durée de vie du lien est calculée et sauvegardé dans la table en utilisant le schéma de l'estimation de la durée de vie du lien précédant , et la puissance du signal est obtenu a partir du récepteur radio sans fil, les noeuds établissent la route saut par saut. calculée et sauvegardé dans la table en utilisant le schéma de l'estimation de la durée de vie du lien précédant , et la puissance du signal est obtenu a partir du récepteur radio sans fil, les noeuds établissent la route saut par saut.

4.3 Chemin unique VS chemins multiples

Le routage à chemin multiple a été étudié de manière approfondie dans le contexte des réseaux filaires. Il a été montré que l'utilisation de plusieurs chemins pour acheminer les messages entre n'importe quelle paire de noeuds source-destination permet d'équilibrer la charge plus uniformément sur l'ensemble du réseau. Et à été généralisé pour les réseaux ad hoc. Mais plusieurs recherches récentes ont démontré que c'est faux, dans [62]ce n'est pas nécessairement le cas ; un nouveau modèle analytique pour l'évaluation d'équilibrage de charge a été introduit avec un routage à chemin multiple. Et comme conclusion que l'utilisation de plusieurs chemins multiple pour le routage la distribution de la charge du trafic est la même utilisant le routage à chemin unique. Ceci est en contradiction avec les résultats existants précédents qui supposent que le routage multi chemins distribue la charge uniformément et n'entraîne pas "nécessairement" un meilleur équilibre de charge par rapport au routage à chemin unique.

Il existe plusieurs critères pour comparer le routage à un seul chemin et le routage à plusieurs chemins dans les réseaux ad hoc, Premièrement, la surcharge de la découverte d'itinéraire dans le routage multi-chemins est beaucoup plus importante que celle du routage à un seul chemin. D'autre part, la fréquence de découverte d'itinéraire est beaucoup moins dans un réseau qui utilise le routage à chemins multiples, puisque le système peut toujours fonctionner même si un ou plusieurs des chemins multiples entre une source et une destination échouent.

Deuxièmement, il est communément admis que l'utilisation du routage multi chemin

entraîne un débit plus élevé. La raison en est que tous les noeuds sont supposés avoir une capacité fixe (et limitée) (bande passante et puissance de traitement).

Des études et simulations ont été faite sur l'effet du routage multi chemin dans l'équilibrage de charge dans un reseaux ad hoc. Malgré ce que l'on croit communément dans la communauté des réseaux, l'utilisation de chemins multiples pour le routage des messages n'équilibre pas nécessairement la charge mieux que le routage à un seul chemin. Plus le nombre de chemins utilisés augmente le routage multi-chemins n'améliore pas l'équilibre de charge. le routage multi-chemins se comporte très similaire au routage à un chemin unique. Alors on a opté pour AODV au lieu AOMDV[21] au vu de ses caractéristiques et dans le contexte de la répartition de la charge du trafic dans un réseau ad hoc.

4.4 fonctionnement natif d'AODV

Pour l'établissement et le maintien d'une route le protocole AODV utilise trois types de message : les paquets de demande de route RREQ (Route request Message), les paquets de réponse de route RREP (Route REPly Message) et les paquets d'erreur de route RERR (Route ERRor Message). Ces paquets constituent le trafic de contrôle de routage. Quand un noeud source et un noeuddestination n'ont pas une route entre eux, le noeud source initie le RREQ pour découvrir la route; le noeud intermédiaire ou le noeud destination utilise le RREP pour répondre à la requête de découverte de route; le RERR est utilisé dans le cas ou il y' a une route rompue . La requête RREQ contient adresse source, numéro de séquence, id diffusion, adresse destination, numéro de séquence, nombre de sauts ; son fonctionnement comprend 3 phases, la découverte de route, maintenance de route, gestion de connectivité [15],[76].
Pour la première phase, un noeud diffuse une requête de route (RREQ : Route Request), dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible. Cela peut arriver si la destination n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou s'il est devenu défaillant (i.e. la métrique qui lui est associée est infinie). Apres la diffusion du RREQ, la source attend le paquet réponse de route (RREP : Route REPlY). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée RREP_WAIT_TIME), la source peut rediffuser une nouvelle requête RREQ. Quand un noeudde transit (intermédiaire) envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du noeudà partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse, qui sera traversé par le paquet réponse de route de manière unicast (cela veut dire qu'AODV supporte seulement les liens symétriques). Puisque le paquet réponse de route va être envoyé à la source, les noeuds appartenant au chemin de retour vont modifier leurs tables de routage suivant le chemin contenu dans le paquet de réponse (temps d'expiration, numéro de séquence et prochain saut).

Pour la deuxième phase Afin de maintenir des routes consistantes, une transmission périodique du message “HELLO ” (qui est un RREP avec un TTL de 1) est effectuée. Si trois messages “HELLO ” ne sont pas reçus consécutivement à partir d’un noeudvoisin, le lien en question est considéré défaillant. Les défaillances des liens sont, généralement, dues à la mobilité du réseau ad hoc.
Gestion de connectivité : Lorsqu’un noeudreçoit un paquet en Broadcast, il met à jour ses informations de connectivité locale pour s’assurer qu’elles incluent ce voisin. Si aucun paquet n’est émis aux voisins actifs pendant le dernier hello_interval, un noeud va envoyer un hello (RREP non sollicité) contenant :

son identité.
son numéro de séquence (non modifié pour les hello).
time to live de 1 pour ne pas être retransmis.
liste des noeuds pour lesquels il a reçu un hello [15].

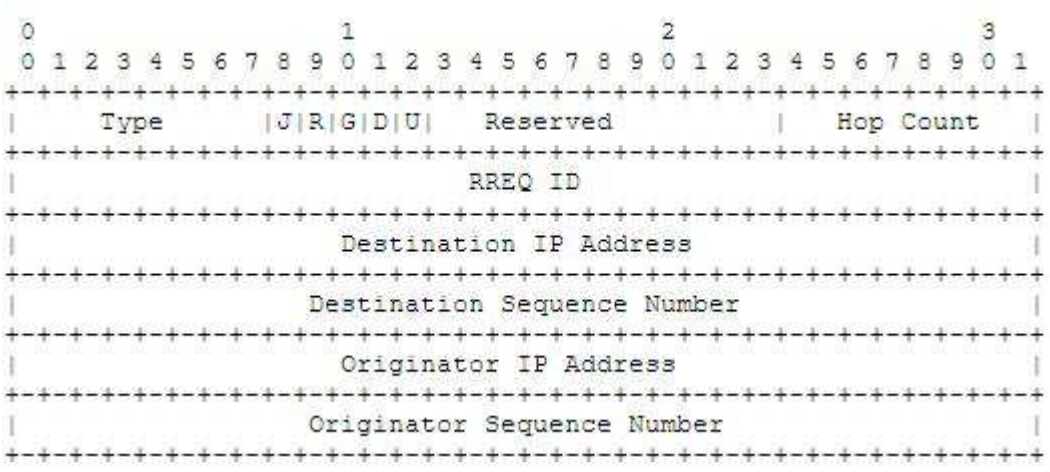


Figure 4.1 – Route Request (RREQ) Message Format[76]

4.5 Approche de réduction de la charge du trafic

Le balancement de charge est un modèle de qualité de service, où un protocole de routage est amélioré pour satisfaire les exigences des applications utilisateurs sensibles à un paramètre comme le délai, la bande passante et la gigue. Dans notre travail, nous somme amenés à améliorer la qualité de service en minimisant les retards et la congestion . Le protocole aodv ne prend pas en compte la répartition de la charge, on va lui rajouter la fonction du calcul du cout qui sera en fonction de la métrique la charge du noeud et on modifiera le processus de découverte de route et la sélection du chemin sera en fonction de ce cout minimal et du nombre de sauts.

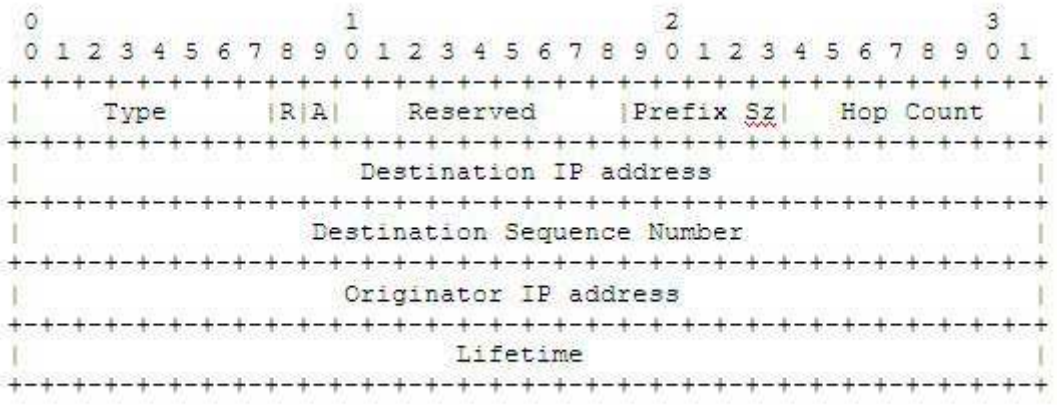


Figure 4.2 – Route Reply (RREP) Message Format[76]

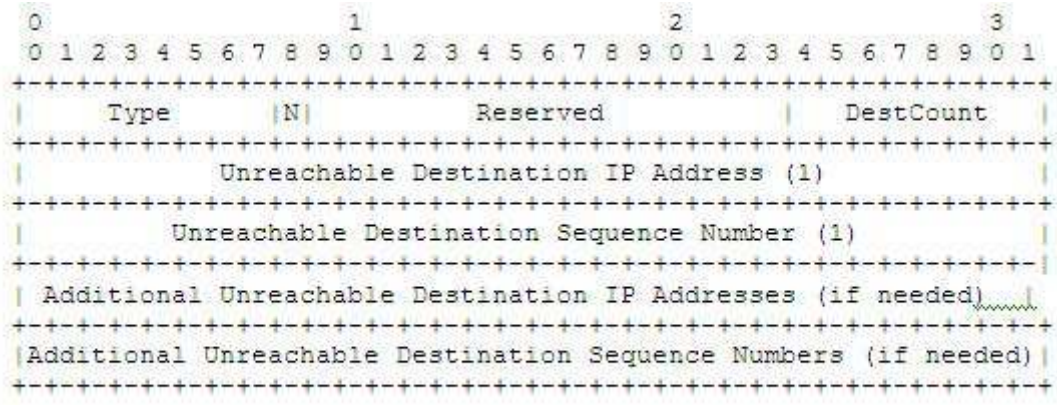


Figure 4.3 – Route Error (ERROR) Message Format[76]

4.6 La conception du protocole proposé

Le protocole le protocole AODV-SPB (AODV-ad hoc on demand distance vector with stable path, less congested and traffic load balancing) est une extension au protocole AODV qui choisi un chemin unique, cela permet d'éviter les problèmes de congestion du réseau. Le choix du chemin dans ce protocole dépend de deux facteurs :La charge du trafic et la stabilité du lien pour répondre aux exigences de la qualité de service.

4.6.1 Description du AODV-SPB

l'algorithme de ce protocole comprend quatre phases ; la découverte de chemin, gestion de connectivité et maintenance de route et calcul de chemin.

4.6.1.1 processus de decouverte de route

Dans le protocole AODV, si le noeud source à besoin d'envoyer des données à la destination mais il n'a aucun chemin dans son cache , il diffuse un paquet RREQ à tous ses voisins. Mais dans ce protocole AODV-SPB seulement les noeuds moins surchargés répondent à un paquet RREQ. Si un noeud est surchargé le paquet RREQ sera supprimé ceci est au du processus de s'auto-vérification du noeud qui compare sa charge avec celle du rreq-load , dans le cas ou la charge du noeud rt-load est inferieur à celle du rreq-load elle sera rajouté au rreq-load (mise -ajour) et ajoute son identificateur au RREQ et le re broadcast à ses voisins dans le réseau, le même procédé sera répété jusqu'a ce que le paquet RREQ atteigne la destination.

La fonction s'auto vérification du noeud dépend d'une certaine valeur de seuil pour déterminé si le noeud est congestionné ou pas.
La valeur du seuil est basé sur la charge nodale du noeud et la charge du chemin actif.

Apres la réception du premier paquets RREQ ;la destination attends un certains temps (wait-time)avant de commencer la selection des chemins, une fois le delai expire ,le chemin choisi sera le moins encombré et sera calculé en fonction de la fonction cost (voir 1.1). Apres avoir sélectionné un chemin optimale, la destination transmet le chemin dans un paquet RREP au noeud source.

— **Les paquets et les structures de données utilisées dans AODV-SPB**
Les noeuds mobiles utilisant AODV-SBP échangent trois types de paquets de contrôle à savoir :
Les requêtes de demandes de route (RREQ), les réponses de routes (RREP) et les erreurs de route (RRE), le même format de paquet RRER est utilisé dans AODV par contre le format des paquets RREQ et RREP a été modifié.
-Un champ nommé "rq-load " a été ajouté au paquet RREQ, il prend comme valeur de la charge de tous les noeuds participant au chemin actif .
- un champ "rp-load" a été ajouté à la structure du paquet RREP existant. Qui contient la valeur du cout du chemin choisi par la destination.
Un champ est ajouté comme indiqué"rt-load " dans la table de routage du noeud.

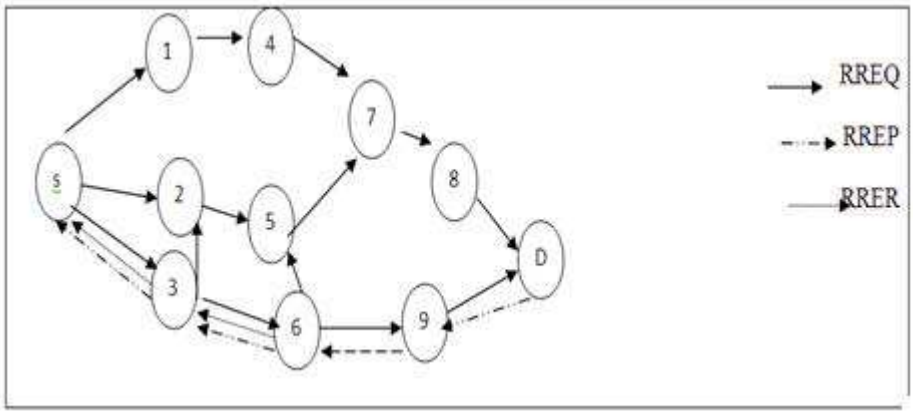


Figure 4.4 – types de messages dans le protocole AODV-SPB

Dest	Seq.N	rt-load Cost	Hop count	Next hop	Expiration timeout

Figure 4.5 – Table de routage du protocole AODV-SPB

4.6.1.2 calcul du cout du chemin

Pour trouver le chemin minimal plusieurs métriques ont été utilisées:

(a) L(i)=$\sum$ the packets in the interface queue of node i (1.1)

(b) $rq - load = \sum_{i \in k}^{n} L(i)$ ou n : les noeuds traversé par RREQ (1.2)

(c) $Cost(D)$ = min (rq-load) l a destination choisi parmi les chemins existant celui qui a le min Cost. (1.3)

(d) $best(cost) = \min(hop) and \min(cost)$ (1.4)

La destination choisi le chemin le moins congestionné et le chemin qui a le moins de sauts et envoie le RREP à la source pour établir la route et le routage des paquets de données.

4.6.1.3 Processus de maintenance de route

Dans AODV Un message erreur est envoyé par le noeud si le lien n'est plus valide ceci est causé par l'instabilité de la topologie, i,e la mobilité des noeuds ou la surcharge, il est nécessaire de rétablir les chemins défaillants et de répartir la charge du trafic sur tous le réseau .Dans ce protocole AODV-SBP, on a opté pour la méthode de prédiction i ,e l'utilisation de l'interpolation polynomiale de newton (NIP), qui est un

outil efficace pour approximer la puissance du signal reçu en continue avec des points d'échantillonnage limités , cette méthode à été utiliséE et a montré sa robustesse dans [60] pour améliorer la stabilité du lien.

Tout d'abord la mesure de la puissance du signal reçue a été considérée comme une métrique de routage dans les réseaux sans fil [68], La puissance du signal est utilisée comme un indicateur de la qualité du lien, comme hypothèse qu'un paquet de données est bien reçu si la puissance du signal reçue dépasse un certain seuil.et d'autre auteurs dans [69] considèrent la puissance du signal comme un facteur de qualité de lien. Chaque lien se voit affecté par la mesure de la puissance du signal comme coût du lien. Le facteur de qualité de lien est le produit des probabilités calculées pour chaque saut.
Et dans [70] mesurent la puissance du signal lorsqu'un paquet est reçu (contrôle passif). Ils définissent une région de préemption autour de la source, considérant que lorsque la puissance du signal du paquet reçue est inférieure à un seuil prédéfini préventif.
dans notre travail, on a opté pour l'interpolation polynomiale pour imiter la force du signal reçu et anticiper la défaillance des chemins .

La puissance du signal reçu est déterminée par la distance et la puissance de transmission. Si les noeuds transmettent avec une puissance PT par une antenne omnidirectionnelle, les noeuds reçoivent la puissance du signal Pr avec une distance di peut être exprimée comme suit :

$$P_r = \frac{P_t}{4\Pi * d_i^2}$$

La relation entre eux est similaire à celui entre les différents modèles des canaux radio, de plus, le mécanisme d'estimation de la durée de vie du lien est adaptative à divers environnements.
Plusieurs periodes avec des différents paramètres des mouvements peuvent exister pendant la durée de vie du lien, mais les paramètres du mouvement du noeud sont constants au cours de chaque époque.

La figure suivante montre le cas d'un noeud P qui se déplace à l'intérieure de la portée de transmission de noeud S, dans la distance et la vitesse relative déterminent la durée de vie du lien directement.
Pour calculer la vitesse précisément, trois points d'échantillonnage sont sélectionnés, ce qui répondent aux contraintes de$_{t1}$ =$_{t2}$=$_t$ respectivement. Si tous les points d'échantillons ne peuvent pas satisfaire à la contrainte ci-dessus, le montant réel reçu la force du signal pour un moment spécial est approximatif selon le plan d'estimation de la durée de vie du lien.[60]
D'autre part, l'échantillonnage excessif consommera l'énergie limitée des noeuds ; Par conséquent, les noeuds doivent avoir la capacité d'évaluer la force du signal reçu dans le domaine temporel continu avec seulement plusieurs points d'échantillonnage, et puis trouver les points de référence appropriés pour compléter l'ensemble du processus

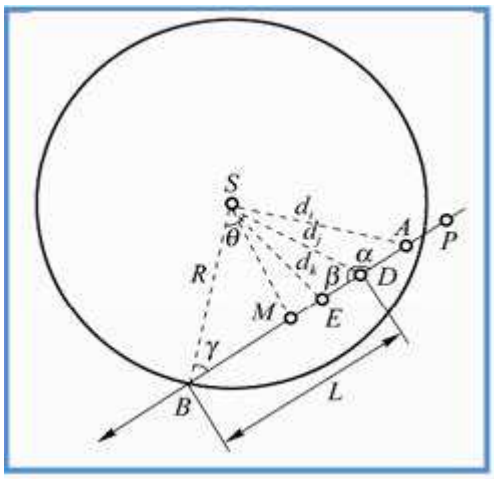


Figure 4.6 – Mouvement du noeud
[60]

de prédiction.
Dans cette thése :Comme un outil efficace , on a utilisé l'approximation pour prédire si à un instant précis le noeud va se déconnecter,en mathématique y 'a plusieurs façon d'approximer une fonction inconnue explicitement mais connu en un certains points , tel que les fonctions trigonométrique , ou exponentiels , et les interpolations (Lagrange , Newton, Spline, Hermite) , l'algorithme de newton peut approcher l'intensité du signal reçu en continu avec des points d'échantillonnage limités. En comparaison avec l'interpolation linéaire, NIP simplifie le processus de calcul de manière itérative, par conséquent, il est utilisé pour imiter la force du signal reçu.

Les differences divisées de newton prennent comme paramètres les puissances des paquets reçues avec leurs temps de mesure , la formule est la suivante:

Soit $N(x)$ la puissance du signal.
$x_0, x_1, ..., x_n \in [a, b]$ représente l'instant d'échantillonnage courant donc, le NIP est définis comme suit :

$$N(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_1) + ... + a_n(x - x_0)...(x - x_{n-1}) (4.1)$$

$1, (x - x_0), (x - x_1), ...(x - x_{n-1})$ les bases, pour avoir la valeur d'erreur d'interpolation minimale, vaut mieux utiliser 3 valeurs au moins d'échantillonage , sachant que l'erreur d'interpolation reflete la qualité d'approximation.
$a_0 = f(x_0), a_1 = f(x_0, x_1), a_2 = f(x_0, x_1, x_2)$
Si la valeur N(x) obtenue est inferieur à un certain seuil , le noeud va se déconnecter, déclenchement de la procédure de réparation locale, et on évite toute défaillance de lien , et ce lien peut être exploité pour alléger le réseau de la surcharge.

4.6.1.4 Gestion de la connectivité

le processus est similaire à celui du protocole AODV.

4.7 Les algorithmes

1-pseudo-Algorithme au niveau du nœud source (S)

If S a de nouveaux paquets pour les envoyer et n'as pas de route vers la destination.

rq -cost = 0

Then

Rq-cost = l(s). (calcule sa charge et l'a rajoute au RREQ)

diffusion RREQ à tous ses nœuds voisins

end

If S reçoit un RREP de la destination que le chemin est installé

Then debut de transmission des données

Else If S ne reçoit pas un RREP de la destination apres une periode d'attente « route-discovery »

Then ré-initié le processus de découverte de route

Else S reçoit RRER que la destination n'a pas de chemin alternatif

Then début du processus de découverte de route

End

end

2- pseudo -Algorithme au niveau du nœud intermédiaire ;

If le nœud I reçoit un RREQ

Then verifie Id du RREQ

Creation de la route inverse

If ID existe

Le message RREQ sera supprimé

Else if (rq-cost <1 (i))

Le message RREQ sera supprimé

Else mise-a-jour du rq-load (rq -cost = rq- cost + l(i)) .

Mise à jour de la table de routage selon le numero de sequence et rq-load.

If le nœud intermédiaire est la destination

Then voir l'algorithme pour le noeud de destination D.

Else if un nouvel itinéraire

envoyer une réponse rrep

Insérer nexthops à la RREQ source et à la RREQ destination dans les listes de précurseurs de destination et de source.

Transmettre la demande de route.

3-pseudo Algorithme au niveau du nœud destinataire

If le nœud D reçoit RREQ et vérifie l'adresse de destination du message avec le nœud et est identique à celui-ci.

Then

Sauvegarder le chemin avec son cout (rq-load).

Après l'expiration de la minuterie la destination choisie parmi les

Itinéraires celui avec le moindre coût (rq-load) et le chemin le plus court.

Envoie RREP à la destination.

If le noeud D reçoit une erreur de route de notification.

Then

le mécanisme de maintenance de l'itinéraire est lancé.

les étapes de l'Algorithme au niveau de la fonction revc() Lors de la réception d'un paquet (control, données):

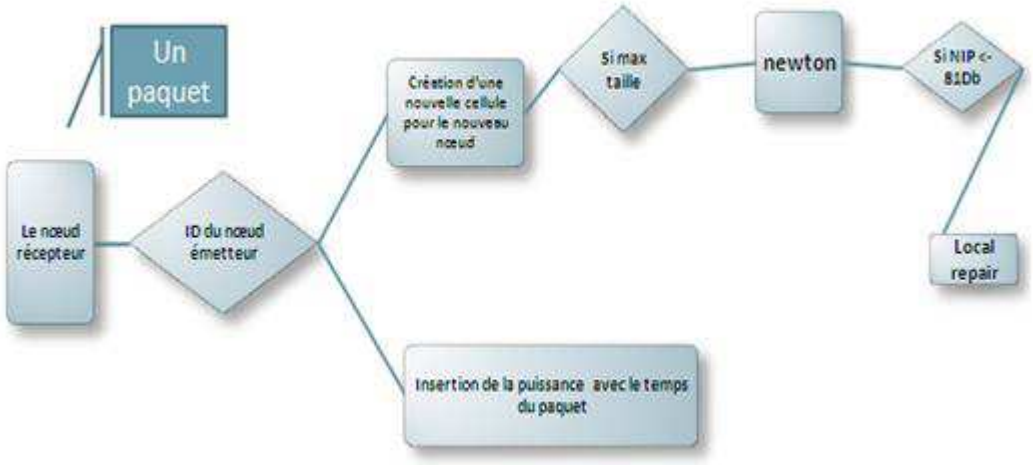


Figure 4.7 – maintenance de route dans AODV-SPB

Ce schéma décrit le déroulement de la réception d'un paquet ;

Le noeud récepteur d'un paquet (type données ou contrôle) , vérifie si ID noeud source existe dans sa liste d'émetteur , si c'est le cas l'insertion de la puissance avec le temps dans une liste de puissance.
Si non création d'une nouvelle case pour le nouveau ID noeud qui possède un pointeur vers la liste des puissances qui seront insérés dedans, à chaque réception d'un paquet ce procédé est répété jusqu'à ce que la taille atteigne le maximum de nombre de mesure de puissance.
Ensuite le calcul des différences divisées de newton à un temps précis(les paramètres utilisés par cette fonctions sont les puissances reçus avec leurs temps de mesure) . Si la valeur obtenu après le calcul qui est la valeur de puissance prédite est supérieur à un seuil (prédéfinie) ,ce lien est fiable , sinon le lien est très faible et le noeud au temps précisé va se déconnecté, alors appel à la fonction de réparation local propre au protocole AODV .

5

Evaluation simulation

5.1 introduction

La modélisation d'un système est un acte de formulation d'une représentation simple pour un système réel. Il permet aux chercheurs de regarder de près dans le système sans avoir à effectivement l'implémenter. Au cours de l'étude, divers paramètres peuvent être appliqués pour étudier le comportement du système. Une fois que le système est bien compris, les chercheurs peuvent décider si le système réel doit être mis en uvre. La modélisation du système nécessite souvent des hypothèses de simplification. Ces hypothèses excluent les détails non pertinents du système réel, rendant ainsi le modèle plus propre et plus facile à mettre en oeuvre. Cependant, des hypothèses excessives peuvent conduire à une représentation inexacte du système. Traditionnellement, il existe deux approches de modélisation: l'approche analytique et l'approche de simulation. Le concept général de l'approche de modélisation analytique est de trouver un moyen de décrire le système mathématiquement, et appliquer des méthodes numériques pour obtenir un aperçu du modèle mathématique développé. Des exemples d'outils mathématiques largement utilisés sont les théories de la file d'attente et de la probabilité. Puisque les résultats analytiques proviennent principalement de preuves mathématiques, ils sont vrais aussi longtemps que les conditions sous-jacentes tiennent. Utilisée correctement, la modélisation analytique peut être un moyen rentable de fournir une vue générale du système.et pour l'approche de simulation .
La simulation recrée des scénarios du monde réel à l'aide de programmes informatiques. Il est utilisé dans diverses applications allant de la recherche opérationnelle, l'analyse commerciale, la planification de la fabrication et l'expérimentation biologique, pour n'en citer que quelques-unes. Comparée à la modélisation analytique, la simulation nécessite généralement moins d'hypothèses de simplification, puisque presque tous les détails possibles des spécifications du système peuvent être incorporés dans un modèle de simulation. Lorsque le système est plutôt vaste et complexe, une formulation mathématique directe peut ne pas être réalisable. Dans ce cas, l'approche de simulation est généralement préférée à l'approche analytique. Le but de la simulation est de réaliser de nombreuses expériences et de faire des arguments convaincants en faveur

de la généralisation. En raison de la généralisation, les résultats de la simulation sont généralement considérés comme moins forts que les résultats analytiques.[63][64]. Dans ce dernier chapitre est divisé en deux partie ; la première consacrée à l'environnement de simulation et la deuxième partie à l'implémentation et l'évaluation des résultats.

5.2 Le simulateur NS2

Network Simulator (Version 2), largement connu sous le nom de NS2, est simplement un outil de simulation événementiel qui s'est avéré utile pour étudier la nature dynamique des réseaux de communication. Simulation de fonctions de réseau câblé et sans fil et des protocoles (par exemple, des algorithmes de routage, TCP, UDP) peuvent être réalisés en utilisant NS2. En général, NS2 fournit aux utilisateurs un moyen de spécifier de tels protocoles réseau et de simuler leurs comportements correspondants. En raison de sa flexibilité et de sa nature modulaire, NS2 a gagné une popularité constante dans la communauté de recherche en réseau depuis sa naissance en 1989. Depuis, plusieurs révolutions et révisions ont marqué la croissante de l'outil, Parmi ceux-ci sont l'Université de Californie et l'Université Cornell qui a développé le réseau REAL simulateur. la base sur laquelle NS est inventé. Depuis 1995, l'Agence des projets de recherche avancée de la Défense (DARPA) a soutenu le développement de NS à travers le projet Virtual InterNetwork Testbed (VINT) [65]. Actuellement, la National Science Fondation (NSF) a rejoint le développement[64].

5.2.1 Architecture du NS2

NS2 fournit aux utilisateurs une commande exécutable "ns" qui prend un argument d'entrée, le nom d'un fichier de script de simulation Tcl. Dans la plupart des cas, un fichier de trace de simulation est créé et est utilisé pour tracer un graphique et / ou créer une animation.

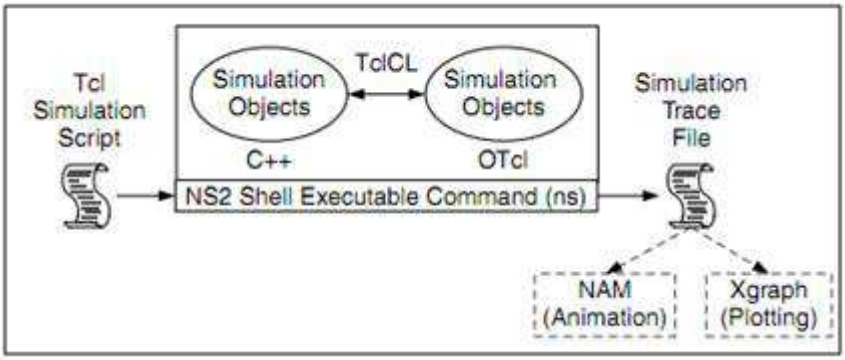


Figure 5.1 – Architecture de base de NS[66]

NS2 se compose de deux langages clés: C++ et OTcl (Object-oriented Tool Command Language), Tandis que le C ++ définit le mécanisme interne de la simulation, OTcl met en place une simulation en assemblant et en configurant les objets ainsi qu'en

ordonnant des événements discrets. Le C++ et l'OTcl sont liés ensemble en utilisant TclCL. Mappé à un objet C++, les variables des domaines OTcl sont parfois appelées des "handles ". Dans le domaine OTcl, un handle agit comme une interface qui interagit avec les utilisateurs et les autres objets OTcl. Il peut définir ses propres procédures et variables pour faciliter l'interaction. Notez que les procédures membres et les variables du domaine OTcl sont appelées procédures d'instance (instprocs) et variables d'instance (instvars), respectivement.[66]

5.2.2 Installation et Composant du NS2

NS-2 est conçu initialement pour fonctionner sur le système d'exploitation Linux, mais il existe un moyen pour son installation sur un système Windows par l'intermidiere de cigwin . NS-2 est fourni sous forme d'un paquetage qui regroupe tous les ?chiers nécessaires à son installation. Plusieurs principaux composants sont actuellement disponible dans NS-2:
Application : Classe mère de toutes les applications (FTP, TELNET, ...).
Agent : Classe mere des protocoles de niveau 3 et 4 (TCP, UDP).
Node : Represente l'ensemble des noeuds du reseau. Chaque noeud contient un queue de donn´ees (classifier) pour envoyer un paquet arrivant d'un agent ou d'une interface vers la bonne sortie.
Queue : Classes m'eres des buffers (RED, DropTail).
LinkDelay : Simule les delais de propagations.
Packet : Classe mere des paquets contient le header.
TimeHandler : Classe mere des timers
Voici un tableau listant quelques composants actuellement prit en charge par NS-2 :

Application	Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR).
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM.
Routage	OLSR, DSR, AODV.
Gestion de file d'attente	RED, DropTail, Token bucket.
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair queueing.
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, P2P.

Figure 5.2 – Liste des composants dans Ns-2[66]

5.2.3 Principales étapes de simulation NS2

Les principales étapes de la simulation NS2 sont les suivantes:

(a) Étape 1: Conception de simulation : La première étape de la simulation d'un réseau consiste à concevoir la simulation. Dans cette étape, les utilisateurs doivent déterminer les objectifs de la simulation, la configuration du

réseau, les hypothèses, les mesures de performance et le type de résultats attendus.

(b) Étape 2: Configuration et exécution de la simulation ,Cette étape implémente la conception dans la première étape. Elle est constituée de deux phases: Phase de configuration du réseau: dans cette phase, les composants du réseau (par exemple, noeud, TCP et UDP) sont créés et configurés en fonction du modèle de simulation. En outre, les événements tels que le transfert de données doivent commencer à un certain moment.
Phase de simulation : Cette phase lance la simulation qui a été configurée dans le Phase de configuration du réseau. Il maintient l'horloge de simulation et exécute événements chronologiques. Cette phase se déroule généralement jusqu'à ce que l'horloge de simulation atteigne une valeur de seuil spécifiée dans la phase de configuration du réseau.

(c) Étape 3: Traitement de post simulation Les principales tâches de cette étape comprennent la vérification de l'intégrité du programme et évaluer la performance du réseau simulé. Alors que la première tâche est appelée débogage, la deuxième est réalisée en collectant et compilant correctement les résultats de la simulation.[67]

5.2.4 Le concept de deux langues dans NS2

Pourquoi deux langues? NS2 utilise OTcl pour créer et configurer un réseau (c'est-à-dire, interface utilisateur) et C++ pour exécuter une simulation (c'est-à-dire, mécanisme interne). Tous les codes C++ doivent être compilés et liés pour créer un fichier exécutable. Puisque le corps de NS2 est assez grand, le temps de compilation n'est pas négligeable. OTcl, d'autre part, est un langage de programmation interprété, pas un langage compilé. Toute modification d'un fichier OTcl peut être exécutée sans compilation. Comme OTcl ne convertit pas les codes en langage machine, chaque ligne a besoin de plus de temps d'exécution.

Le noeud mobile : Dans NS2, L'implémentation centrale de la mise en réseau sans fil réside dans les noeuds mobiles :

Noeud source: les paquets sont créés par une application. Ils entrent dans l'entrée du noeud et sont passés au classificateur d'adresses. Dans ce cas, l'adresse de destination serait différente de l'adresse de ce noeud. Le classeur d'adresse transmet donc le paquet à l'agent de routage via "default_target_".
Noeud de destination: les paquets entrent dans un noeudmobile via l'entrée de noeudà partir de la couche de liaison. Dans ce cas, l'adresse de destination est la même que l'adresse de noeud. Les paquets sont donc transmis au classificateur de port qui transmet ensuite les paquets à l'application de récepteur attachée.
Noeud de transfert: les paquets sont transmis de la couche de liaison à l'entrée de noeud et au classificateur d'adresses. Dans ce cas, le paquet est transmis à l'agent

de routage, car l'adresse dans l'en-tête du paquet ne correspond pas à l'adresse du noeud.[63]

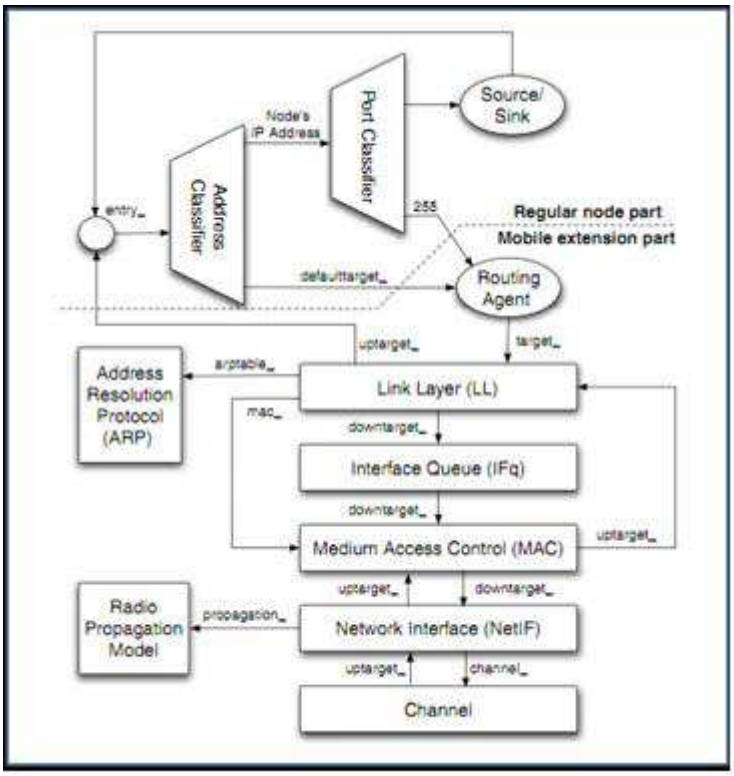


Figure 5.3 – Architecture des noeuds mobiles[63]

5.2.5 implémentation de l'AODV en NS2

NS2 implémentent des protocoles de routage utilisant des agents de routage qui créent, transmettent, Reçoivent, traitent et suppriment les paquets de routage. Dans le cas d'AODV, NS2 déclare un AODV de classe C++,La classe AODV dérive de la classe Agent et hérite de trois attributs et comportements importants: (1) un pointeur "target_" qui pointe vers un objet de couche liaison ,(2) une fonction allocpkt () qui peut être utilisée pour créer des paquets, et (3) une fonction de réception de paquets recv ;voir plus de détail dans[63] .

5.2.5.1 Modèle de mobilité

la simulation des réseaux ad hoc est liée à des paramètres spécifiés au préalable, ainsi, l'évaluation d'un protocole de routage ad hoc dépend du choix du modèle de mobilité pour visionner les mouvements réalistes des noeuds. Il existe trois types de modèles de mobilité, certains représentent les noeuds mobiles dont les mouvements sont indépendants l'un de l'autre. D'autre part, il y a des modèles de mobilité de groupe qui représentent les noeuds mobiles dont les mouvements dépendent les uns des autres et ils tendent à être plus réalistes dans les applications impliquant la communication de groupe.[71]:
modèle random walk mobility Le modèle de mobilité aléatoire est le modèle de mobilité le plus simple, générer des modèles de mouvement complètement aléatoires. Il a été conçu pour des simulations dans lesquelles les mouvements des noeuds mobiles sont complètement imprévisibles, Comme de nombreuses entités dans la nature se déplacent de manière extrêmement imprévisible, le modèle de mobilité aléatoire a été développé pour imiter ce mouvement erratique Dans ce modèle de mobilité, un noeud mobile se déplace de son emplacement actuel à un nouvel emplacement en choisissant au hasard une direction et une vitesse de déplacement Dans ce modèle, un noeudmobile est initialement placé dans un emplacement aléatoire dans la zone de simulation, puis déplacé dans une direction choisie aléatoirement entre [0,2pi] à une vitesse aléatoire entre [SpeedMin, SpeedMax]. Chaque mouvement dans le modèle de mobilité Random Walk se produit dans un intervalle de temps constant t ou une distance constante d, à la fin de laquelle la nouvelle direction et la nouvelle vitesse sont calculées et ce processus est répété un nombre prédéterminé de fois.
Modèle aléatoire waypoint mobilité Le modèle de mobilité de waypoint aléatoire introduit des temps de pause spécifiques entre les mouvements, c'est-à-dire les changements de direction et de vitesse. Ce modèle de mobilité le plus utilisé dans la recherche scientifique et peut être considéré comme une base pour la construction d'autres modèles de mobilité. Un noeud mobile commence en restant à un endroit pendant une certaine période de temps (c'est-à-dire un temps de pause). Une fois ce temps expiré, le noeud mobile choisit une destination aléatoire ainsi qu'une vitesse uniformément répartie entre [0,MAXSPEED]. Il se déplace ensuite vers la destination nouvellement choisie à la vitesse sélectionnée. À l'arrivée, le noeud mobile prend une autre pause avant de recommencer le processus. Nous notons que le modèle de

mouvement d'un MN en utilisant le Random Waypoint Mobility Model est similaire au Random Walk Mobility Model si le temps de pause est zero et [0, MAXSPEED] = [speedmin, speedmax] .Ceci est un modèle de mobilité simple et est donc adopté par de nombreux auteurs dans leurs études de simulation.
Modèle de mobilité de direction aleatoire Dans ce modèle, le noeud mobile choisit une direction aléatoire dans laquelle voyager au lieu d'une destination aléatoire. Après avoir choisi une direction aléatoire, un MN se déplace vers la frontière de la zone de simulation dans cette direction. Dès que la limite est atteinte, le MN s'arrête pendant un certain temps, choisit une autre direction angulaire (entre 0 et 180 degrés) et poursuit le processus.

5.2.5.2 Les traces NS-2

Si l'utilisateur désire tracer les évènements produits pendant la simulation, les objets "Trace" du simulateur sont nécessaires . Ces objets s'associent aux objets du simulateur pour détecter chaque évènement et l'écrire vers un fichier. La classe "Simulator" dispose d'une méthode "trace-all" qui associe des objets trace à tous les "buffers" et liens du réseau.

set f [open File w]
$nstrace - allf$

Format du fichier de trace
* evt = + (enque),- (deque), r (reception), d (drop)

Le fichier de trace peut être traité avec awk, perl, etc.. pour obtenir certaines informations statistiques :

- Nombre de paquets jetés dans un certain interval du temps.

- Débit de la connexion vu par le récepteur ou l'émetteur.

5.3 Environnement de simulation

Pour évaluer les différentes métriques, plusieurs simulations ont été effectuées à l'aide du simulateur NS2. il est open source et largement utilisé pour la recherche dans le domaine des MANETS.et on peut ajouter des extensions des protocoles à ce simulateur. Les paramètres utilisés pour les simulations sont donnés dans le tableau suivant.

Simulation parameters	**values**
NETWORK //heightTOOL of simulation	MANET NS2
Time of simulation	900 s
Area of simulation	**1500x300m**
Number of node	50
Mobility pattern	Random waypoint
Type of source	CBR
Routing protocol	AODV , AODV_balanced, AODV- SPB
Pause time	0, 30, 60, 120, 300, 600,900.
rate	4 packets/second
Taille des paquets	512 octet
seuil fixé de la puissance	-81dB
taille maximale du buffer	64 paquets
Mobilité model	**waypoint mobility model**
scenarios	**scenario1 : AU max 10 connexions** **scenario2 : au max 20 connexions** **scenario3 : au max 30 connexions** **scenario4 : au max 40 connexions**

5.3.1 les métriques d'évaluation

La simulation des trois protocoles sous NS2 génère des fichiers de traces contenant le déroulement de toute la simulation (nombres de paquets envoyés, reçus, nombre de liens défaillants).
C'est on se basant sur ces statistiques qu'on a pu analyser les résultats de la simulation et on a pu évaluer les changements avant et après la modification du protocole AODV, Afin de comparer les performances des différentes métriques de routage, nous avons besoin de critères de comparaison. Ces critères sont des métriques de performance qui dépendent des critères recherchés par le protocole de routage. Dans notre étude, nous cherchons à maximiser le taux délivrance de paquets (PDR : Packet Delivery Ratio) ou de manière équivalente minimiser le taux de perte , minimiser la surcharge "overhead " et réduire les délais de bout-en-bout. Nous utilisons donc le PDR, la surcharge et le délai de bout-en-bout comme métriques de performance.

(a) **Taux de paquets livrés** correspond au rapport entre le nombre de paquets de données reçus par la destination et le nombre de paquets de données envoyés par la source.

(b) **Délai de bout-en-bout** est le temps moyen entre l'émission d'un paquet et sa réception. Le délai de bout-en-bout comprend le retard de routage et d'autres retards divers, tels que, le retard de transmission, le retard de propagation et le retard de la file d'attente.

(c) **Charge de routage normalisée**: Le nombre de paquets de routage transmis à la destination et on peut la calculé aussi par: par la division du nombre des paquets de controle par celui des paquets reçus.[73][74][75]

5.3.2 modele de trafic CBR

Pour chaque scénario nous avons fait varier le paramètre principal pouvant influencer le comportement et les résultats de simulation qui est le Pause-Time qui représente pour chaque noeud le temps d'immobilité avant un nouveau déplacement. 84 simulations ont été réalisées pour l'obtention des graphes des 4 scénarios suivants ; Pour chaque protocole 28 simulations a chaque fois on fait varié la scène.

Nous avons utilisé des applications qui sont des sources de trafic de type CBR (Constant Bit Rate) et qui émettent des paquets à intervalles réguliers. Ces sources de trafic modélisent la couche application sur des agents de transport UDP. L'utilisation de ce protocole permet d'éviter d'avoir à gérer le contrôle de flux qui amènerait à une analyse plus complexe des résultats. Un flux aléatoire de script TCL de génération de trafic appelé "cbrgen.tcl" est utilisé pour simuler des sources de débit binaire continu dans NS-2. Les noeuds de destination et source sont choisis au hasard parmi les 50 noeuds du réseau aucours du temps de simulation. La taille du paquet est de 512 octets et le taux de transmission est de 4 pkt /s.

Les noeuds se déplacent selon le modèle "random way point model". Dans lequel, chaque noeud est placé à un endroit aléatoire au début de simulation.
Ensuite, chaque noeud sélectionne une destination aléatoire dans le champ et commence à se déplacer avec une vitesse uniformément répartie entre o et une certaine vitesse maximale. Une fois la destination sélectionnée atteinte, chaque noeud effectue une pause pendant une pause de quelques secondes, sélectionne une autre destination et répète la procédure comme décrit. Tous les noeuds se déplacent selon le mouvement spécifié dans le fichier de scénario pour la durée du temps de simulation.
L'outil setdest est utilisé pour créer des fichiers de scénario de mouvement.. Un temps de pause de 0 seconde correspond à un mouvement continu et à le pause le temps de 900 secondes correspond à aucun mouvement.

5.3.3 Scénarios de simulation

Scénario 1 : **10 noeuds** communiquent en CBR durant 900 seconde, avec des paquets de 512 octets et vitesse maximum de 20m/s dans un terrain à dimensions 1500m×300m.

Scénario 2 : **20 noeuds** communiquent en CBR durant 900 seconde, avec des paquets de 512 octets et vitesse maximum de 20m/s dans un terrain à dimensions 1500m×300m.

Scénario 3 : **30 noeuds** communiquent en CBR durant 900 seconde, avec des paquets de 512 octets et vitesse maximum de 20m/s dans un terrain à dimensions 1500m×300m.

Scénario 4 : **40 noeuds** communiquent en CBR durant 900 seconde, avec des paquets de 512 octets et vitesse maximum de 20m/s dans un terrain à dimensions 1500m$\times$300m.

la simulation sous NS-2 génère des fichiers de traces (tr) contenant les statistiques concernant le déroulement de toute la simulation (nombre de paquets envoyés, reçus, nombre de liens défaillants, moyenne de temps nécessaire aux paquets pour attendre leurs destinations etc..) c'est en ce basant sur ses statistiques qu'on a pu analyser les résultats de la simulation pour évaluer les changements avant et après les modifications du protocole AODV.

5.3.4 Résultats et interprétations

5.3.4.1 Comparaison entre AODV et AODV-balanced et AODV-SPB

Dans cette section nous présentons une comparaison entre AODV et AODV-balanced et AODV-SPB , les simulations de ces 3 protocoles ont été faites sur le même modèle de simulation (les mêmes valeurs des paramètres et les mêmes modèles de trafic).

(a) Première étude ; Nous avons modifié le processus de découverte de route par les changements cités dans le chapitre précédant sans modifier la phase de maintenance de route, le protocole modifié nommé AODV-Balanced ensuite implémenté sous NS2.

(b) Deuxième étude : Apres avoir obtenu un protocole AODV-balanced, on a inséré le processus de prédiction de défaillance de lien dans la phase de maintenance de route. Ce protocole a été nommé AODV-SPB.

Overhead

Les figures représentent les résultats obtenus de chaque scénario concernant la métrique Overhead.

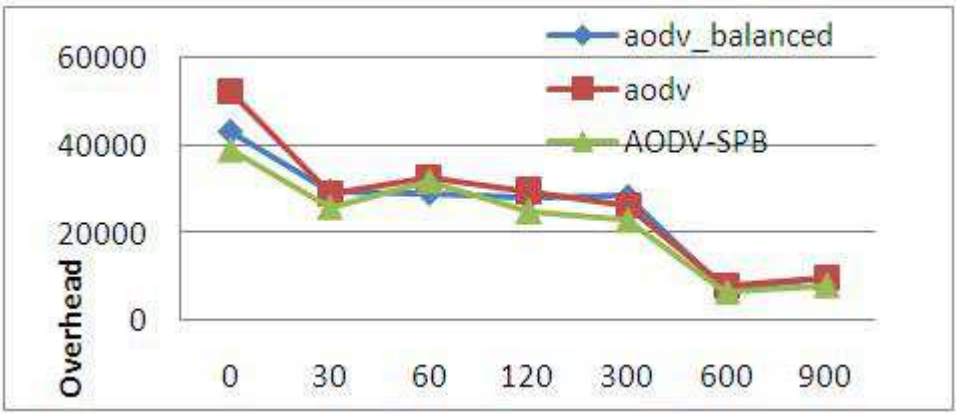


Figure 5.4 – Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Overhead

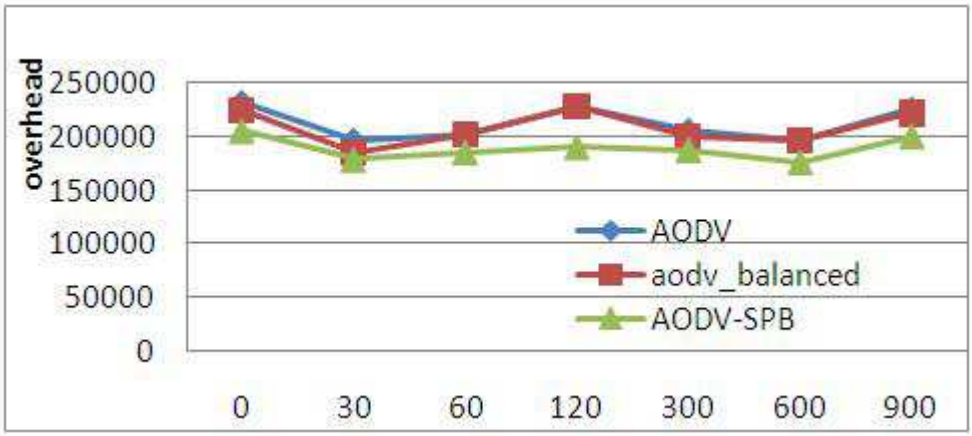


Figure 5.5 – Les résultats obtenus du scenario 2 concernant la métrique Overhead

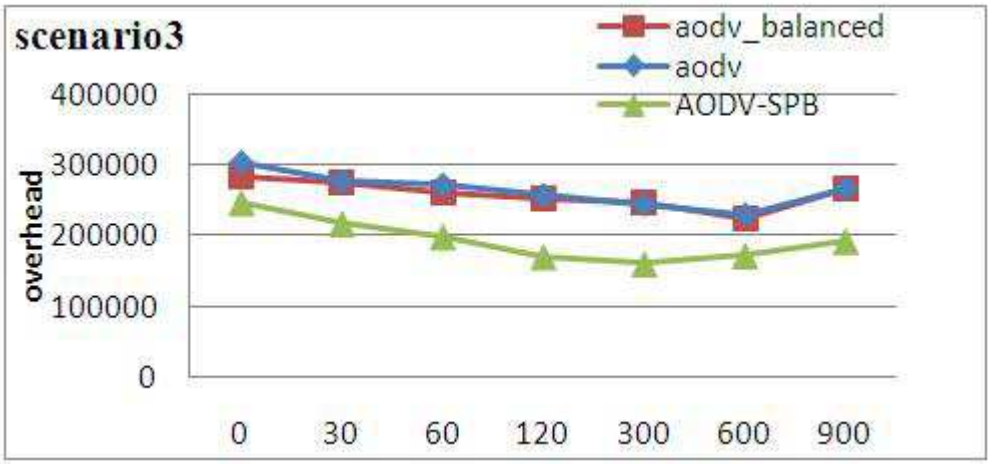


Figure 5.6 – Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Overhead

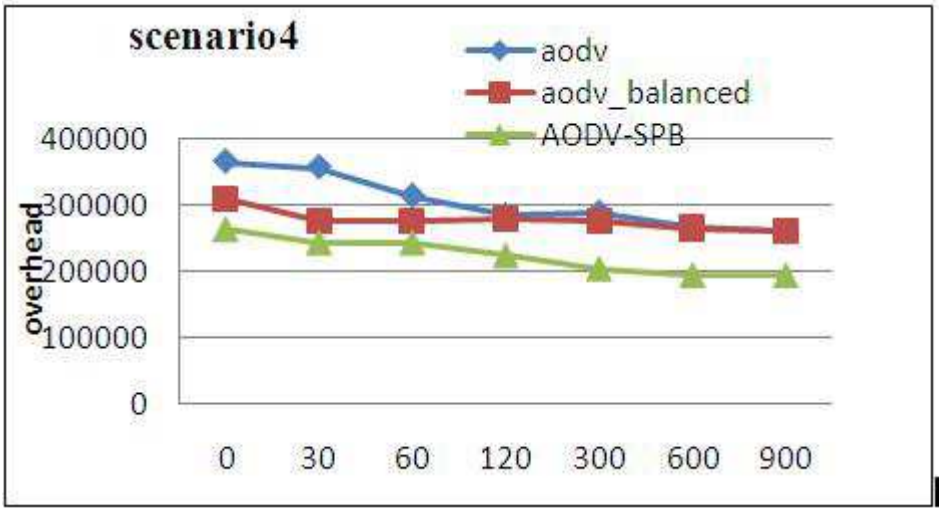


Figure 5.7 – Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Overhead

Commentaire:
Les courbes montrent qu'en terme de surcharge pour les trois protocoles AODV-BALANCED et AODV-SPB et AODV se détériore pour un environnement à forte mobilité (temps de pause=0). Par rapport au protocole standard (AODV), le protocole modifié AODV-SPB donne toujours de très bons résultats, et ce, pour toutes les valeurs de pause time grâce à la technique d' équilibrage de charge qui évite les noeuds congestionnés et choisi les routes les moins surchargé.

Avg end to end delay

Les figures représentent les résultats obtenus de chaque scénario concernant la métrique avg end to end delay.

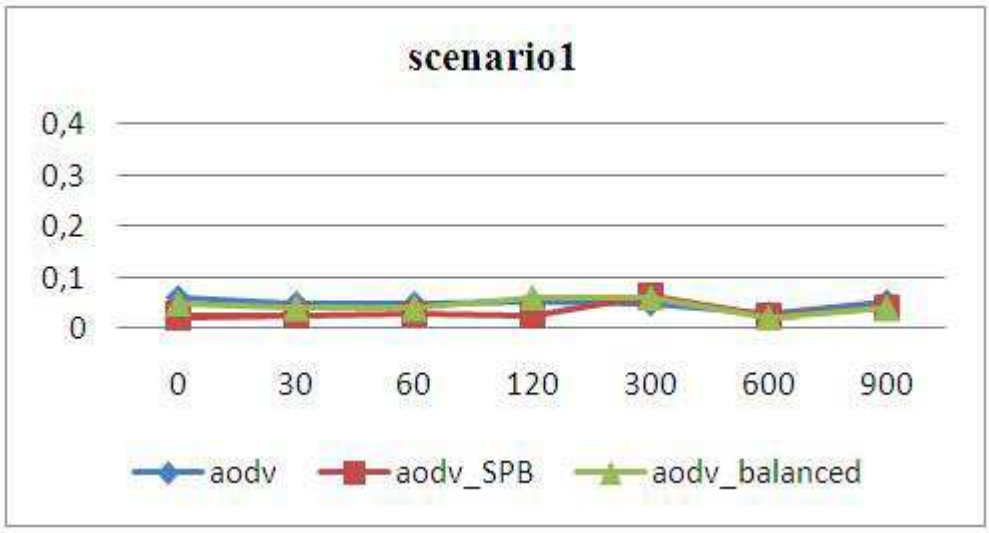


Figure 5.8 – Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Avg end to end delay

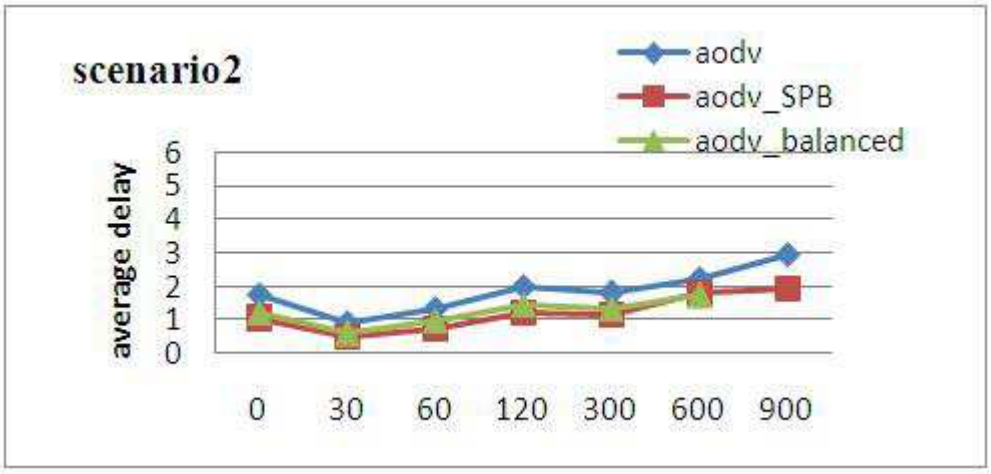


Figure 5.9 – Les résultats obtenus du scénario 2 concernant la métrique Avg end to end delay

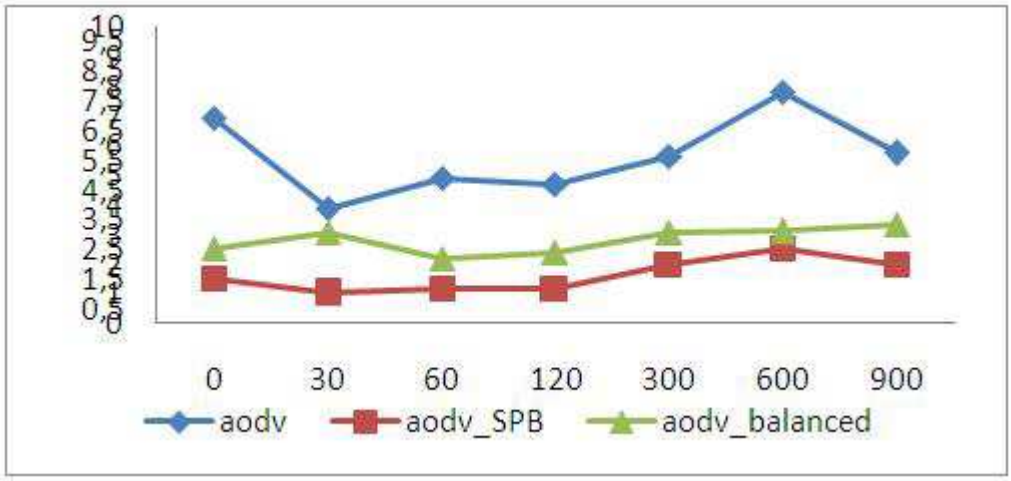


Figure 5.10 – Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Avg end to end delay

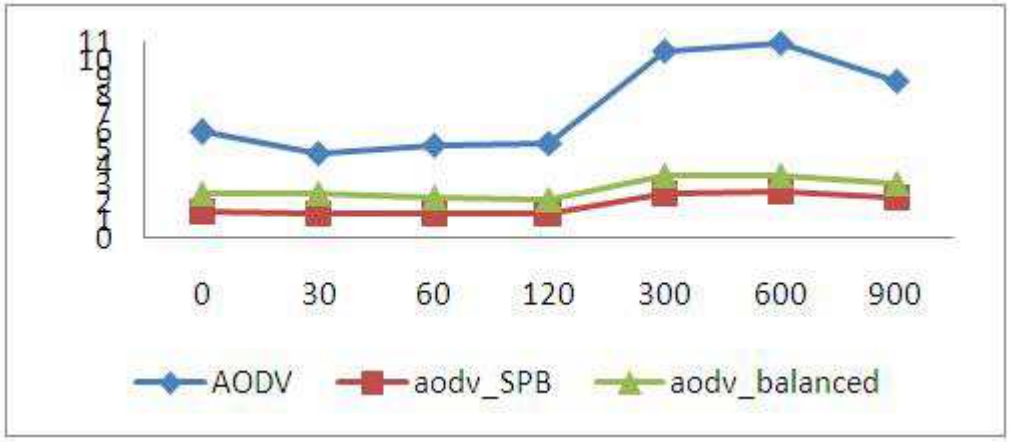


Figure 5.11 – Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Avg end to end delay

Commentaire:
Les résultats de la simulation montrent dans les quatre scenarios que la moyenne du délai de bout en bout diminue puisque le délai dépend de la mobilité pour une forte mobilité aussi que le protocole AODV-SPB minimise le délai de livraison des paquets beaucoup plus que les deux autre protocoles AODV et AODV- BALANCED ceci est du à la répartition de la charge sur les differents noeuds du reseau donc plus de noeuds actif , plus de paquets traiter donc moins de temps mis pour les livrer.

DeliveryRatio

Les figures représentent les résultats obtenus de chaque scénario concernant la métrique DeliveryRatio.

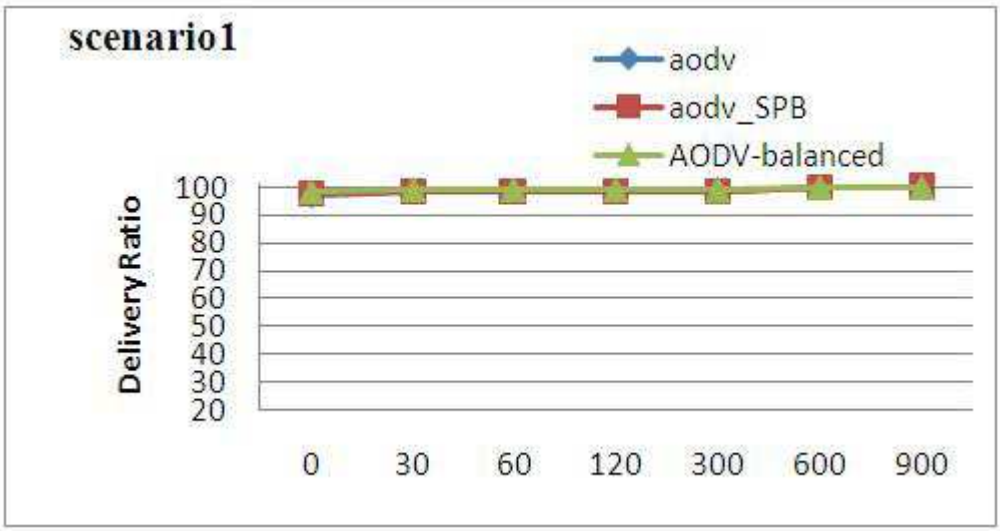


Figure 5.12 – Les résultats obtenus du scénario 1 concernant la métrique Delivery Ratio

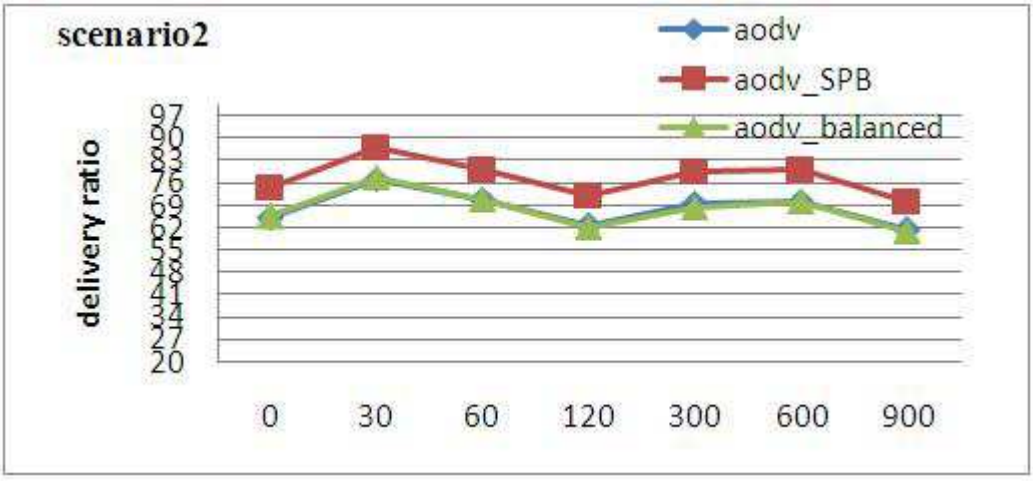


Figure 5.13 – Les résultats obtenus du scénario 2 concernant la métrique Delivery Ratio

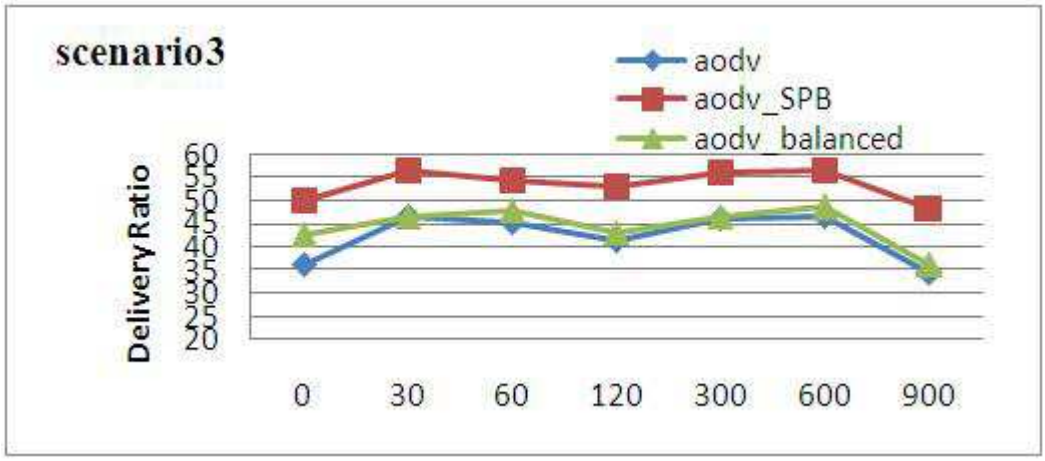


Figure 5.14 – Les résultats obtenus du scénario 3 concernant la métrique Delivery Ratio

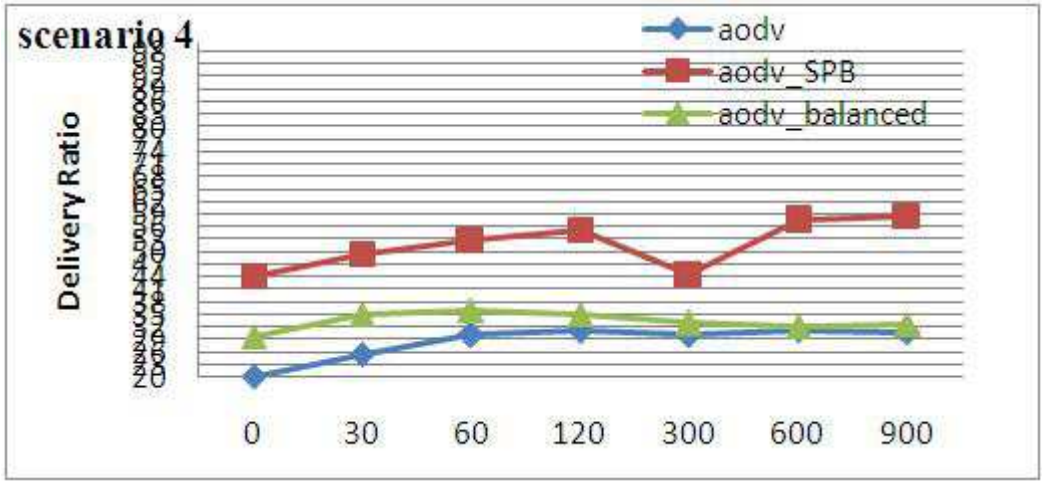


Figure 5.15 – Les résultats obtenus du scénario 4 concernant la métrique Delivery Ratio

Commentaire:
D'après les courbes, on remarque que le protocole AODV-SPB assure
une amélioration du taux de paquets livrés. Il atteint 45% dans le pire des cas (environnement à forte mobilité) et 95% pour un environnement stable ceci est du à la combinaison du mécanisme de prédiction de défaillance de route et l'appel à la fonction de réparation de route et au mécanisme de répartition de charge donc moins de paquets rejeté ; puisque en cas de surcharge ;le tampon plein alors le paquet qui arrive sera supprimé; et le taux de délivrance représente le nombre de paquets reçu par le nombre de paquets envoyé, par conséquent ce taux à été amélioré dans le protocole AODV-SPB par rapport au atres protocoles.

6

Conclusion Générale et perspective

La répartition du trafic permet d'améliorer les performances du système qui fait partie d'un réseau ad hoc en transférant les tâches des noeuds surchargés vers des noeuds sous-chargés ou inactifs sur tous les chemins existants,
or la charge excessive sur le noeud entraine la saturation du tampon "mémoire pleine qui engendre la suppression des paquets ".

Grâce à la répartition du trafic le temps total pour traiter tous les travaux peut être réduit et permet également de s'assurer qu'aucun noeud n'est inactif pendant que certains travaux attendent d'être traités. Les protocoles de routage sont essentiels au bon fonctionnement des réseaux ad hoc. Un inconvénient majeur de tous les protocoles de routage ad hoc existants est qu'ils n'ont pas de dispositions pour transmettre la charge et / ou la qualité d'un chemin pendant la configuration de la route. Par conséquent, ils ne peuvent pas équilibrer la charge sur différentes routes. En outre, les protocoles proactifs et réactifs choisissent le chemin en fonction de la métrique, du plus petit nombre de sauts vers la destination. Mais ce n'est peut-être pas le chemin le plus important en cas de congestion ou de goulot d'étranglement dans le réseau. . Cela peut entraîner une augmentation du taux de transfert des paquets, du délai de bout en bout des paquets ou la congestion du routage, notamment lorsque le trafic est concentré sur un noeud spécial comme une passerelle par laquelle des noeuds mobiles d'un réseau ad hoc peuvent se connecter à Internet.
Il existe divers algorithmes proposés pour l'équilibrage de charge qui prennent la charge de trafic comme un sélecteur de route, mais sans aucune considération à la stabilité du chemin, Afin d'assurer une communication ininterrompue et de rendre les protocoles de routage plus efficaces en présence de mouvements de noeuds, deux problèmes, la maintenance des chemins. L'objectif de cette thèse consisterait à optimiser l'algorithme du protocole de routage AODV qui fait partie de la famille des protocoles de routage réactifs dans les réseaux mobiles ad hoc , qui est capable du routage unicast et multicast .il est fondé sur le principe de vecteurs de distance et utilise le principe de numéro de séquence dans l'envoie de ces paquets.la recherche de route s'effectue par diffusion.le principe de fonctionnement de son algorithme comprend trois étapes la découverte de route et la maintenance de route et la gestion de la connectivité. L'inconvénient majeur de ce protocole est qu'il ne permet pas une répartition équilibrée de la charge du trafic sur les différentes routes. D'autres protocoles de routage comme (LBAR) "Load-Balanced Ad hoc Routing protocol " sont fondés sur

la notion d'équilibre et de meilleure répartition de la charge de trafic et la recherche des chemins stables, Donc l'idée principale est d'intégrer les principaux fonctionnalités de ces protocoles LBAR au protocole AODV et d'évaluer le comportement du réseau ad hoc et la qualité de service qui en résulte. En utilisant le simulateur NS2, la simulation de ces protocoles sous différents scénarios de communication avec la variation des principaux paramètres pouvant influencer ces communication et ce afin d'avoir des résultats optimaux, les résultats de ces simulations ont été représentés par des graphes pour mieux comprendre le comportement. En ce basant sur ces resultats, une comparaison a été faite entre les protocoles AODV ,AODV-BALANCED ,AODV-SPB.

Ce dernier a montré son efficacité par rapport a AODV, les résultats de la simulation indiquent que sous le nouveau mécanisme de la répartition de la charge du trafic que le taux de livraison des paquets a augmenté et que le nombres de paquets rejetés a été réduits de maniere efficace et que la performance de délai de bout en bout est meilleur que celui d'AODV ,et la en terme de surcharge efficace par rappot AODV ce qui améliore la qualité du service ,pour satisfaire les exigences des applications.

Comme travaux futur on peut implémenter cet algorithme aux différents protocoles comme DSR,OLSR,TORA des réseaux ad hoc pour un routage optimal.
Pour améliorer cet algorithme on intègre un autre critère de sélection de route qui est le délai, donc la sélection de chemin se fera en fonction du trafic et du délai, on peut réduire le nombre de paquets de control générés i, e, minimiser la consommation de l'énergie de la batterie ainsi Augmenter la durée de vie de ces noeuds, étudier le comportement de ces protocoles modifiés dans un environnement à forte mobilité..

Bibliography

[1] RFC 2501 : (MANET) : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations *», janvier 1999*

[2]Lee, Swanson and Liu, "An Efficient On-Demand Cache Routing Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks", Proceedings of IEEE ICCSIT2009, Bejing, China, 8/2009.

[3] D. Helen and D. Arivazhagan ,Applications Advantages and Challenges of Ad Hoc Networks ,Journal of Academia and Industrial Research (JAIR), ISSN: 2278-5213,2014.

[4] DALI WEI , H ANTHONY CHAN ,ANALYSIS OF THE APPLICATIONS AND CHARACTERISTICS OF AD HOC NETWORKS ,**:** INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATION TECHNOLOGY, 2016.

[5] K. U. R. Khan, R. U. Zaman, and A. V. Reddy, "Performance comparison of on-demand and table driven ad hoc routing protocols using nctuns," pp. 336–341, 2008.

[6] Martinus Dipobagio," An Overview on Ad Hoc Networks", Institute of Computer Science (ICS), Freie Universität Berlin,2015.

[7] S. Toumpis and D. Toumpakaris, "Wireless ad hoc networks and related topologies: applications and research challenges," e & i Elektrotechnik und Informationstechnik, vol. Volume 123, pp. 232–241, 2016.

[8] M. Günes, B. Blywis, and F. Juraschek, "Concept and design of the hybrid distributed embedded systems testbed," August 2008.

[9] "The official bluetooth.

[10] J. Schiller, Mobile communications. Addison-Wesley Verlag, 2000.

[11] Jennifer Yick,Biswanath Mukherjee ,Dipak Ghosal, 'Wireless sensor network survey', Computer Networks Volume 52, Issue 12, Pages 2292-2330,2008

[12] IAN F.AKYILDIZ ,XUDONGWANG ,WEILINWANG,' WIRELESS MESH NETWORKS: A SURVEY', COMPUTER NETWORKS VOLUME 47, ISSUE 4, 15 MARCH 2005, PAGES 445-48

[13] S. CORSON, J. MACKER. MANET: ROUTING PROTOCOL PERFORMANCE ISSUES AND EVALUATION CONSIDERATIONS. RFC 2501, IETF NETWORK WORKING GROUP, JANUARY 1999. HTTP://WWW.IETF.ORG/RFC/RFC2501.TXT CITED 15.02.2004 .

[14] D.B. JOHNSON, D.A. MALTZ, J. BROCH, DSR: THE DYNAMIC SOURCE ROUTING PROTOCOL FOR MULTI-HOP WIRELESS AD HOC NETWORKS, IN: C.E. PERKINS (ED.), AD HOC NETWORKING, ADDISON-WESLEY, 2001. 139–172.

[15] C. PERKINS, E. ROYER, AD HOC ON-DEMAND DISTANCE VECTOR ROUTING, IN: PROCEEDINGS OF THE SECOND IEEE WORKSHOP ON MOBILE COMPUTING SYSTEMS AND APPLICATIONS, 1999. 99–100.

[16] C. SIVA RAM MURTHY AND B.S. MANOJ, "AD HOC WIRELESS NETWORKS ARCHITECTURE AND PROTOCOLS", PEARSON EDUCATION, 2005.

[17] C.-K. TOH, ASSOCIATIVITY-BASED ROUTING FOR AD-HOC MOBILE NETWORKS, WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS JOURNAL 4 (2) (1997) 103–139.

[18]R. DUBE, C.D. RAIS, K.Y. WANG, S.K. TRIPATHI, SIGNAL STABILITY-BASED ADAPTIVE ROUTING (SSA) FOR AD HOC MOBILE NETWORKS, IEEE PERSONAL COMMUNICATIONS MAGAZINE 36–45.

[19] T. GOFF, N.B. ABU-GHAZALEH, D.S. PHATAK, R. KAHVECIOGLU, PREEMPTIVEROUTING IN AD HOC NETWORKS, JOURNAL OF PARALLEL DISTRIBUTED COMPUTING 63 (2) (2003) 123–140.

[20] Q. XUE, A. GANZ, AD HOC QOS ON-DEMAND ROUTING (AQOR) IN MOBILE AD HOC NETWORKS, JOURNAL OF PARALLEL DISTRIBUTED COMPUTING 63 (2) (2003) 154–165.

[21] Preeti Aggarwal, II Er. Pranab Garg, AOMDV Protocols in MANETS : A Review, International Journal of Advanced Research inComputer Science & Technolog,(32-34),2016.

[22] G. Ivascu, S. Pierre, A. Quintero, QoS routing with traffic distribution in mobile ad hoc networks, Computer Communications 32 (2) (2009) 305–316.

[23] M. Yu, A. Malvankar, W. Su, S. Foo, A link availability-based QoS- aware routing protocol for mobile ad hoc sensor networks, Computer Communications 30 (18) (2007) 3823–3831.

[24] A. Malvankar, M. Yu, T. Zhu, An availability-based link QoS routing for mobile ad hoc networks, IEEE Sarnoff Symposium, Princeton, NJ, March 2006.

[25]C. Perkins, P. Bhagwat, Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers, in: ACM SIGCOMM, August–September 1994, pp. 234–244.

[26]T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Muhlethaler, A. Qayyum, L.Viennot, Optimized link state routing protocol for ad hoc networks, in: Proceedings of IEEE INMIC, December 2001, pp. 62–68.

[27]O. Souihli,M. Frikha,M.Hamouda, Load-balancing inMANET shortest- path routing protocols, Ad Hoc Networks 7 (2) (2009) 431–442.

[28]L. Layuan, L. Chunlin, A QoS multicast routing protocol for clustering mobile ad hoc networks, Computer Communications 30 (7) (2007) 1641–1654.

[29] B. Sun, L. Li, QoS-aware multicast routing protocol for ad hoc networks, Journal of Systems Engineering and Electronics 17 (2) (2006) 417–422.

[30] J-H. Song, V. Wong, and V. Leung, "Load Aware On-Demand routing (LAOR) Protocol for Mobile Ad hoc Networks," in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTCSpring), Jeju, Korea.

[31]Y. Yi, M. Gerla, and T.J. Kwon, "The Selective Intermediate Nodes Scheme for Ad Hoc On-Demand Routing Protocols," in Proc. IEEE ICC'02, New York City, New York, April/May 2002.

[32] Hossam Hassanein, Audrey Zhou, , "Load-aware destination-controlled routing for MANETs",Computer Communications 26 (2003) 1551–1559.

[33] IETF MANET Working Group Charter http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html.

[34] S.R. Das, C.E. Perkins, E.M. Royer, Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks, IEEE INFOCOM March (2000).

[35] K. Wu, J. Harms, "Load Sensitive Routing for Mobile Ad Hoc Networks", Proc. IEEE ICCCN'01, Phoenix, AZ Oct. 2001, pp. 540-546.

[36] Dae In Choi, Jin Woo Jung, K. Y. Kwon, D. Montgomery, and HyunKook Kahng, "Design and Simulation Result of a Weighted Aware Routing(WLAR) Protocol in Mobile Ad Hoc

Network" , LNCS 3391, pp. 178-187, 2003.wlar

[37] Y. Yoo and S. Ahn, "A Simple Load-Balancing Approach in Secure Ad Hoc Networks", ICOIN 2004, LNCS 3090, pp. 44-53, 2004.

[38] Jin-Woo Jung, Dae In Choi, Keumyoun Kwon, Ilyoung Chong, Kyungshik Lim, Hyun-Kook Kahng, "A Correlated Load Aware Routing Protocol in Mobile Ad Hoc Networks", ECUMN 2004, LNCS 3262, pp. 227–236, 2004.

[39] Shouyi YIN, Xiaokang LIN, "Adaptive Load Balancing in Mobile Ad hoc Networks", IEEE Communications Society /WCNC 2005, pp.1982-1987, 2005.

[40] S. Ahn, Y. Lim and J. Choe, "A Load-Balancing Approach in Ad-Hoc Networks", ICOIN 2003, LNCS 2662, pp. 672-681, 2003.

[41] Y. J. Lee and G. F. Riley, "A Workload-Based Adaptive Load Balancing Technique for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Communication Society, WCNC 2005, pp. 2002-2007.

[42]Altalhi and G. Richard,III, "Virtual Paths Routing: A Highly Dynamic and Adaptive Routing Protocol for Ad Hoc Wireless Networks", to appear in the proceedings of the 1st International

workshop on Mobile Peer-to-Peer Computing (MP2P'04), Orlando, FL, USA March 14-17,2004.

[43]V. Saigal, A. K. Nayak, S. K. Pradhan, and R. Mall, "Load Balanced routing in mobile ad hoc networks", E lsevier Computer Communications 27(2004), pp. 295-305.

[44] Chai Keong Toh , Anh-Ngoc Le and You-Ze Cho "Load Balanced Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks" IEEE Communications Magazine August 2009 .

[45] KAMALPREET KAURA Comparative Survey: « Classification of Load Balancing Routing Protocols in Mobile Ad hoc Network », International Journal of Computer & IT, Vol. 4, April 2016 .

[46] M. Tekaya , N. Tabbane ,S. Tabbane , "Multipath routing with load balancing

and QoS in ad hoc network" , IJCSNS International Journal of Computer Science

and Network 280 Security, Vol.10 No.8, August 2010.

[47] A. Ali , H. Wang , "Node centric load balancing routing protocol for mobile ad

hoc networks" Proceedings of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2012 Vol 1, IMECS 2012.

[48] P. K. Suri, S.Kaur, "A survey of load balancing algorithms in MANET" IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), ISSN: 2250-3498, Vol.2, No. 3, June 2012.

[49] PRASANT MOHAPATRA, SRIKANTH V. KRISHNAMURTHY, ad hoc networks Technologies and Protocols ,springer, Print ISBN: 0-387-22689-3.

[50] RAMIN HEKMAT, AD-HOC NETWORKS: FUNDAMENTALPROPERTIES AND NETWORK TOPOLOGIES, Published by Springer, ISBN-10 1-4020-5166-2.

[51] IEEE Std. 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications , 1999.

[52] P. Sinha, R. Sivakumar, and V. Bharghavan. Cedar: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm. In Proc. IEEE Infocom, 1999.

[53] L. Xiao, J. Wang, and K. Nahrstedt. The Enhanced Ticket Based Routing Algorithm. In Proc. IEEE ICC, 2002.

[54] Vishnu Kumar Sharma and Dr. Sarita Singh Bhadauria "Mobile Agent Based Congestion Control Using Aodv Routing Protocol Technique For Mobile Ad-Hoc Network" International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 4, No. 2, pp. 300-314, April 2012.

[55] M. Ali cherif , M. K. Faraoun and S. B. Hacene, "Link Quality and MAC-Overhead aware Predictive Preemptive Multipath Routing Protocol for Mobile Ad hoc Networks," International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Vol. 5, No. 3, pp. 210-218, December 2013.

[56] A. Bisengar, M. Rziza and M. Ouadou, "Queue Length and Mobility aware Routing Protocol for Mobile Ad hoc Network," International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Vol. 4, No. 3, pp. 207-211, December 2012.

[57]] S. Mallapur, "Predictive Preemptive Ad Hoc on-Demand Multipath Distance Vector Routing Protocol," Int. Journal of Computer Science & Emerging Technologies (IJCSET), Vol. 1, No 2, pp.155-160, August 2010.

[58] S.H. Boukli, A. Lehireche, and A. Meddahi, "Predictive Preemptive Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing," Malaysian Journal of Computer Science, Vol. 19, No 2, pp.189-195, 2006.

[59] A. Boukerche and L. Zhang "A performance evaluation of a pre-emptive on-demand distance vector routing protocol for mobile ad hoc networks", wireless communications and mobile computing, Vol. 4, 2004, pp. 99–108.

[60] Mu-qing WU, Yan ZHEN, Da-peng WU "Reliable routing mechanism based on neighbor stability for MANET" The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications Volume 16, Issue 3, June 2009, Pages 33-39.

[61] T.Wei and G.Wei,"a path reliable routing protocol in mobile ad hoc network",in Proc,4th Int.Conf on mobile ad hoc network ,2008,pp.203-207.

[62] Yashar Ganjali, Abtin Keshavarzian," Load Balancing in Ad Hoc Networks:Single-path Routing vs. Multi-path Routing", IEEE INFOCOM ,2004,pp.

[63] Teerawat Issariyakul , Ekram Hossain," Introduction to Network Simulator NS2", Springer New York Dordrecht Heidelberg London, ISBN 978-1-4614-1405-6 e-ISBN 978-1-4614-1406-3.

[64] HTTPS://WWW.ISI.EDU/NSNAM/NS.THE NETWORK SIMULATOR - NS-2.

[65]THE NETWORK SIMULATOR WIKI. [ONLINE]: HTTP://NSNAM.ISI.EDU/NSNAM/INDEX.PHP

[66] M. Greis. Tutorial for the Network Simulator NS2 : http://www.isi.edu/

nsnam/ns/tutorial/.

[67] K. Fall and K. Varadhan. (2007, Aug.) The ns manual (formerly known as ns notes and

documentation). [Online]. Available: http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html.

[68]G. Parissidis, M. Karaliopoulos, R. Baumann, T. Spyropoulos, and B. Plattner. Routing metrics for wireless mesh networks. pages 199–230, jan 2009.

[69]R.J Punnoose, P.V Nikitin, J. Broch, and D.D. Stancil. Optimizing wireless network protocols using real-time predictive propagation modeling. In Radio and Wireless Conference (RAWCON), 1999. [55] T. Goff, N. [70]Abu-Ghazaleh, D. Phatak, and R. Kahvecioglu. Preemptive routing in ad hoc networks. volume 63, pages 123–140, Orlando, FL, USA, February 2003. Academic Press, Inc

[71] Sukumar Panda, Rahul Mohapatra, « implementation and comparison of mobility models in NS2.(2009)

[72] M.R. EffatParvar, Amir Darehshoorzadeh, Mahdi Zarei,Load balancing and route stability in mobile ad hoc networks base on AODV protocol, Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), 2010 , 11-14 April 2010.

[73] MRINAL KANTI ,DEB BARMA,RAJIB , COMPARISON OF PERFORMANCE METRICS OF MODAODV WITH DSDV AND AODV , PROCEEDING OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT COMMUNICATION, CONTROL AND DEVICES PP 105-112.(2016).

[74] A.Radwan, T.M.Mahmoud,E.H.Houssein, evaluation comparison of some ad hoc networks routing

protocols, Egyptian informatics journal,(2011),95-106.

[75] DONG LEI ; TAO WANG ; JINDONG LI, PERFORMANCE ANALYSIS AND COMPARISON OF ROUTING PROTOCOLS IN MOBILE AD HOC NETWORK, 2015 FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, COMPUTER, COMMUNICATION AND CONTROL (IMCCC)

[76] RFC AODV : https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt

AnnexeB

Script de simulation:

```
set opt(chan)     Channel/WirelessChannel
set opt(prop)     Propagation/TwoRayGround
set opt(netif)    Phy/WirelessPhy
set opt(mac)      Mac/802_11
set opt(ifq)      Queue/DropTail/PriQueue
set opt(ll)               LL
set opt(ant)      Antenna/OmniAntenna
set opt(x)                1500   ;# X dimension
set opt(y)                300  ;# Y dimension of the topography
set opt(ifqlen)   50     ;# max nombre de paquets dans la file d'attente
set opt(seed)     1.0
set opt(tr)           tr_120_40.t
set opt(adhocRouting)   AODV   ;# AODV_SPB
set opt(nn)           50       ;# nombre de noeuds a simuler
set opt(sc)               "../examples/scen-mp120-test"   ;# ".
set opt(cp)                     "../examples/cbr-40-mc"       ;#
set opt(stop)             900.0             ;# simulation time


# Main Program
# ======================================================================
# Initialize Global Variables
# create simulator instance
set ns_           [new Simulator]


# set wireless channel, radio-model and topography objects
set wtopo         [new Topography]
```

```
# create trace object for ns and nam
set tracefd       [open $opt(tr) w]
$ns_ trace-all $tracefd
# use new trace file format
$ns_ use-newtrace

# define topology
$wtopo load_flatgrid $opt(x) $opt(y)

# Create God
set god_ [create-god $opt(nn)]

# define how node should be created
#global node setting
set chan [new $opt(chan)]
$ns_ node-config -adhocRouting $opt(adhocRouting) \
                 -llType $opt(ll) \
                 -macType $opt(mac) \
                 -ifqType $opt(ifq) \
                 -ifqLen $opt(ifqlen) \
                 -antType $opt(ant) \
                 -propType $opt(prop) \
                 -phyType $opt(netif) \
                 -channel $chan \
                 -topoInstance $wtopo \
                 -agentTrace ON \
          -routerTrace ON \
          -macTrace OFF
```

```
#  Create the specified number of nodes [$opt(nn)] and "attach" them
#  to the channel.




# et BS(0) [$ns node 1.0.0]
#$BS(0) random-motion 0
#set bs_ifq [$BS(0) set ifq_(0)]
#"set queuechan [open qlen.tr w]
#$bs_ifq trace curq_
#$bs_ifq attach $queuechan




# Define node movement model
puts "Loading connection pattern..."
source $opt(cp)

# Define traffic model
puts "Loading scenario file..."
source $opt(sc)
```

```
#$ns_ at $opt(stop) "printQueueStats"
#proc printQueueStats {} {
#global queue opt
#for {set i 0} {$i < $opt(nn) } {incr i} {
#$queue($i) printstats
#}
#}
# Define node initial position in nam
for {set i 0} {$i < $opt(nn)} {incr i} {

    # 20 defines the node size in nam, must adjust it according to your scenario
    # The function must be called after mobility model is defined
   $ns_ initial_node_pos $node_($i) 20
}

# Tell nodes when the simulation ends
for {set i 0} {$i < $opt(nn) } {incr i} {
    $ns_ at $opt(stop).000000001 "$node_($i) reset";
}

# tell nam the simulation stop time
#$ns_ at  $opt(stop)       "$ns_ nam-end-wireless $opt(stop)"
$ns_ at  $opt(stop).000000001 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"
puts "Starting Simulation..."
$ns_ run
```

****

exemple de fichier de trace:

s -t 2.556838879 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 53.71 -Ny 128.49 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 1.0 -Id 2.0 -It cbr -Il 512 -If 0 -Ii 0 -Iv 32 -Pn cbr -Pi 0 -Pf 0 -Po 1

r -t 2.556838879 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 53.71 -Ny 128.49 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 1.0 -Id 2.0 -It cbr -Il 512 -If 0 -Ii 0 -Iv 32 -Pn cbr -Pi 0 -Pf 0 -Po 1

s -t 2.556838879 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 53.71 -Ny 128.49 -Nz 0.00 -Ne -1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 1.255 -Id -1.255 -It AODV -Il 48 -If 0 -Ii 0 -Iv 30 -P aodv -Pt 0x2 -Ph 1 -Pb 1 -Pd 2 -Pds 0 -Ps 1 -Pss 4 -Pc REQUEST

…… des milliers de lignes.

LISTE DES PUBLICATIONS

1- Guidoum Amina, Aoued Bouklif :Novel Approach to Enhance Quality of Service by Distributing the Load of Traffic in Manets , WSEAS Transactions on Computers, ISSN / E-ISSN: 1109-2750 / 2224-2872, Volume 16, 2017, Art. #37, pp. 320-325.

2- GUIDOUM A , BOUKELIF A : ENHANCING QUALITY OF SERVICE BY BALANCING THE TRAFFIC LOAD IN MOBILE AD HOC NETWORKS, COMMUNICATION, MANAGEMENT AND INFORMATION TECHNOLOGY,CRC PRESS (TAYLOR &FRANCIS), 139-144.(2016) ISBN :9781498779456 .(ICCMIT 2016).

3- Guidoum A, Boukelif A : Optimization of AODV routing protocol in mobile ad-hoc network by introducing features of the protocol LBAR. Recent Advances in Electrical Engineering and Electronic Devices, 166-171 .(2014) ISBN: 978-1-61804-266-8. (ECCOM '14).