



Enhancing and improving voice transmission quality over LTE network: challenges and solutions

Par Duy Huy NGUYEN

Thèse n°2017TELE0002

Résumé long

La norme LTE (évolution à Long Terme) a été développée et normalisée par le 3GPP (Projet de Partenariat de 3ème Génération). SAE (L'évolution de l'architecture du Système) est l'évolution correspondante du réseau de paquets GPRS/3G. Le terme LTE est typiquement utilisé pour représenter à la fois LTE et SAE. LTE a évolué à partir d'un système 3GPP précédemment connu sous le nom UMTS (Système de Télécommunication Mobile Universel) qui, à son tour, a évolué à partir de GSM (Système Mondial de communications Mobiles). Même spécifications connexes ont été officiellement connus sous le nom E-UTRA (UMTS évolué Accès Radio Terrestre) et E-UTRAN (UMTS évolué Réseau d'accès Radio Terrestre). Première version de la LTE a été documentée dans la version 8 des spécifications 3GPP. Une augmentation rapide de l'utilisation des données mobiles et l'émergence des nouvelles applications telles que les jeux multimédias en ligne, la télévision mobile, le web 2.0, le contenu en streaming ont motivé 3GPP à fonctionner sur LTE sur le chemin vers le mobile 4G. L'objectif principal de la technologie LTE est de fournir un débit de données élevé, une faible latence et de la technologie d'accès radio de paquets optimisé supportant les déploiements de bande passante flexible. En même temps son architecture de réseau a été conçu dans le but de soutenir le trafic à commutation de paquets avec une mobilité transparente et une grande qualité de service. LTE est un réseau à commutation de paquets. Cela signifie qu'il ne supporte pas la méthode de commutation de circuit qui est utilisé pour fournir un service d'appel vocal sur les réseaux 2G/3G. Afin de déployer le service de communication vocale, une technologie supplémentaire est requise. Service de voix sur LTE (VoLTE) a été développé pour fournir la communication vocale et vidéo et SMS (Service de Messages courts) sur les réseaux LTE. Il est un service multimédia basé sur VoIP, dans lequel, les appels vocaux et les services de conférence vidéo peuvent être fournis. La différence fondamentale entre VoLTE et VoIP sur LTE est que le trafic de VoLTE est garantie avec des paramètres de qualité de service donné et est livré au porteur dédié qui a la plus haute priorité alors que

le trafic VoIP est livré au porteur par défaut qui seulement préserve les meilleures efforts de QoS.

Avec VoLTE, l'utilisateur final peut profiter simultanément la voix et des débits de données LTE sur un seul transpoteur. Comme les opérateurs sont actuellement comptent sur leurs (CS) des réseaux à commutation de circuits (CC) 2G/3G pour les services vocaux, donc, il n'y a pas moyen d'offrir simultanément la voix et les données LTE sans l'utilisation d'appareils à double émetteur-récepteur ayant la capacité d'accéder simultanément à la fois le réseau 2G/3G et le réseau LTE. Bien qu'il existe des opérateurs qui ont choisi une telle approche, connue sous le nom SV-LTE, il représente des défis en ce qui concerne la complexité de l'appareil, le coût et la consommation d'énergie. Les opérateurs qui utilisent leurs réseaux 2G/3G pour le trafic vocal renoncent à offrir le SV-LTE, par contre ils utilisent la fonction CSFB qui combine le réseau vocal 2G/3G CC avec le réseau de données LTE. La pagination de messages pour les appels vocaux de réseau 2G/3G sont livrés à un dispositif actuellement sur le réseau LTE permettant que le dispositif reporte les services de données sur le réseau LTE afin de basculer sur le réseau 2G/3G CC pour accepter l'appel vocal. Tant que la capacité de données vocales et LTE simultanée est perdue et la complexité du réseau augmente, ces équipements peuvent être basés sur le coût et les architectures d'émetteurs-récepteurs individuels économes en énergie.

Lors du déploiement du VoLTE, les opérateurs de réseaux mobiles doivent faire face à de nombreuses difficultés et défis. Il est important d'examiner les défis que VoLTE apporte à LTE. Traditionnellement, le service téléphonique a été réalisée sur un réseau CC qui a alloué des ressources du tronc et de radio dédié pour toute la durée de l'appel. Ces ressources ont été consacrées à l'appel et non utilisés à d'autres buts. Au contraire, VoLTE utilise PS pour transporter l'extrémité de trafic vocal à bout, ainsi que pour la signalisation, via un réseau All-IP. En commutation de paquets, les ressources sont demandées et allouées à la demande; ils ne sont pas tenus pour la durée de l'appel. Cela rend la commutation de paquets beaucoup plus efficace que la commutation de circuits, car elle peut affecter dynamiquement des ressources selon les besoins. Cependant, les transporteurs est moins prévisible au point de vue de la disponibilité. Afin de surmonter ce problème, les mécanismes sont définis dans les spécifications LTE, comme SPS et TTI groupage, donc, VoLTE peut être pris en charge pour fournir le même niveau de qualité de service traditionnelle voix de commutation de circuit. Pour les opérateurs mobiles, afin de veiller à ce que VoLTE fournissant le même niveau élevé de service 2G/3G CC voix fournit aujourd'hui, trois repères suivants doivent être atteints: (1) Appel d'achèvement et appeler taux de 99% ou mieux rétention; (2) Le retard total de bout en bout inférieure à 300 ms; et (3) La qualité vocale qui est aussi bonne ou meilleure que la 3G commutateur de circuit vocal (tel que mesuré par PESQ, POLQA et MOS). Depuis 3GPP a normalisé VoLTE basé sur IMS pour la voix sur LTE et SRVCC (radio unique continuité d'appel vocal)

pour Call Continuity, IMS adaptation a été très lent principalement en raison des questions de coût. VoLTE intègre le réseau VoIP, LTE radio (à savoir, E-UTRAN), réseau de base LTE (à savoir, EPC), et l'IMS pour soutenir les services vocaux. On peut dire que VoLTE est l'agrégation de la multiplicité des technologies, des protocoles et des scénarios de mise en œuvre. IMS est conçu pour le contrôle de session d'appel non seulement pour le LTE, mais d'autres technologies de réseau aussi bien, y compris UMTS, CDMA2000, WiFi et même les réseaux câblés. Donc, il doit y avoir la combinaison de interfonctionnement VoLTE avec traditionnelle voix à commutation de circuits. Ces défis peuvent être divisés en trois catégories, comme suit: (1) Les défis de la technologie: C'est pour raison que VoLTE est basée sur IMS, donc il y a beaucoup de nouveaux protocoles qui se rapportaient à IMS tels que IPv6, SigComp, IPSec et P-en-têtes qui font des questions pire. L'intégration de la pile de protocole LTE avec la couche de contrôle IMS doit être pris en charge et la signalisation IMS de bout en bout doit être testé sur le réseau d'accès LTE. En outre, la mise en œuvre de la mobilité entre le réseau LTE à commutation de paquets et le réseau de commutation de circuits est également un problème; (2) Les défis de la mise en œuvre: les normes pour les services de voix sur LTE basés sur l'architecture IMS 3GPP sont encore en croissance. Il faudra du temps pour l'abonné sur la base LTE d'être partout à proximité de réseaux 2G/3G. Par conséquent, il est prévu que les opérateurs seraient chercher des solutions temporaires avant de passer à une architecture à part entière IMS; (3) Les défis de la satisfaction de l'utilisateur: Performance du réseau pour les services essentiels en temps réel doit être testé avec des outils audio et de mesure de la qualité vidéo en temps réel. Simulation de perte de valeur de réseau peut être effectuée à la qualité de l'appel vocal de test en insérant des erreurs dans le flux de données d'application. En fonction de la solution VoLTE déployée par l'opérateur, il peut être retard dans l'appel mis en place et à la dégradation de la qualité. Les fournisseurs de services seraient donc confrontés à un choix difficile à court terme et à long terme. Comme VoLTE basé sur IMS a le soutien de 3GPP, les opérateurs peuvent être obligatoire d'avoir un plan vers des services complets IMS.

VoLTE devrait fournir une haute qualité de la parole, mais comme LTE est basé sur un réseau All-IP, il exige des appels vocaux à traverser le réseau en utilisant la VoIP. Les appels VoIP lutte pour garantir des niveaux de service, mais c'est exactement ce qui est nécessaire si les ORM vont correspondre au niveau de la qualité du service d'appels CS existants. Alors que, afin d'assurer la qualité de VoLTE est un grand défi. Problèmes de la qualité de VoLTE sont dans trois catégories comme suit: (1) les défaillances de configuration de l'appel: VoLTE utilise IMS pour configurer les sessions VoIP qui est extrêmement complexe; (2) QoS de bout en bout: cellules congestionnées causent des ravages avec les appels VoIP, par conséquent, le porteur dédié à fournir une bande passante garantie même quand le reste de la cellule est congestionné doit être surveillée;

et (3) Problème bord de cellulaire: les réseaux LTE sont aussi les réseaux sans fil et ils ont donc le même problème RF (Fréquence Radio) comme les autres réseaux sans fil. Par conséquent, lorsqu'un utilisateur VoLTE se trouve sur le bord de la cellule, les interférences et le bruit augmente souvent au-dessus des seuils acceptables.

MNOs (Opérateurs de Réseaux Mobiles) ont automatisé LTE trace d'appel et des outils de vérification de la bande passante pour gérer les deux premières catégories ci-dessus, mais l'optimisation RF est encore une tâche manuelle. Aujourd'hui, VoLTE est optimisé dans les mêmes appels de manière vocaux ont été optimisés pour les années, mais les appels VoIP sont beaucoup plus sensibles à des niveaux plus élevés d'erreurs de bit causées par le bruit et les interférences qui changent constamment sur le bord des cellules LTE. Les méthodes d'optimisation existantes, telles que drive testing et walk around sont tout simplement pas suffisant pour atteindre le seuil de qualité requis pour les appels VoLTE. Le problème est les utilisateurs de VoLTE sur le bord de la cellule peuvent avoir une expérience pire que les utilisateurs VoLTE dans le reste de la cellule.

Sur la base des analyses ci-dessus, il est clair que, comment faire pour assurer la qualité des appels voix en Volte est un très grand défi. Lorsque le trafic vocal est livré sur le réseau LTE, il est affecté par de nombreux facteurs de dégradation du réseau tels que le retard, la perte de paquets, la gigue, etc. Surtout, quand il est transmis sur un canal bruyant, il est déformé par le bruit, les interférences, etc. Donc, la qualité est réduite. Afin de protéger les données lors de leur transmission sur un canal sans fil, le codage de canal est utilisé à la couche physique. Pour compresser les données audio à la couche application, le codage source est utilisé. On peut dire que, la qualité de VoLTE dépend de nombreux facteurs tels que le codec source, architecture réseau, codec de canal, la bande passante et les configurations des opérateurs, etc. Les nouvelles solutions d'optimisation sont nécessaires afin d'améliorer la transmission de la voix, d'améliorer et de surveiller automatiquement VoLTE la qualité des appels pour chaque utilisateur en temps réel. La plate-forme doit fournir des ajustements de réseau supplémentaires en temps réel pour résoudre ces problèmes avec un mécanisme de rétroaction en temps réel qui vérifie les résultats.

Afin d'illustrer facilement la transmission de VoLTE, la pile de protocole de VoLTE peut être brièvement décrit comme suit: Le de pile de protocole E-UTRAN dans eNB est organisé en trois couches constituées de la couche 1 (L1 - Couche physique), la couche 2 (L2 - MAC, RLC et PPP), et la couche 3 (L3 - RRC, NAS et IP) dans le plan de commande (eNB) tandis que dans UE avion L3 n'a pas de RRC et NAS. Quand un paquet vocal est transmis sur le réseau LTE, il est d'abord comprimé par codec de source vocale (par exemple AMR-WB, G.729, etc.) à l'APL (couche d'application). Il est ensuite mis en paquets dans RTP (En temps réel transport de paquets) paquets et une entête RTP est ajoutée. Ensuite, paquet RTP est mise en paquet dans UDP (l'utilisateur Datagram

Protocol) paquet. L'entête correspondant est également ajouté. Ensuite, paquet UDP est mise en paquet dans IP (Protocole Internet) paquet et entête IP est également ajouté. LTE prend en charge les protocoles IPv4 ad Ipv6. Ensuite paquet IP est livré à la couche PDCP (La convergence des données de commande de paquets). L'une des principales fonctions de cette couche est RoHC (la compression d'en-tête robuste). RoHC est utilisé pour compresser et décompresser en-tête IP jusqu'à 1-4 bytes pour réduire la surcharge de données. Puis, en-tête PDCP est ajouté pour former paquet PDCP. Ensuite paquet PDCP est transmis à RLC (Le contrôle de la liaison radio) couche. RLC fonctionne en 3 modes de fonctionnement: mode transparent (TM), Mode Unacknowledged (UM), et le mode Acquittée (AM). L'une des missions en vedette de cette couche est ARQ (Répétition automatique). Il est utilisé pour la vérification et correction d'erreurs (Uniquement pour le transfert de données AM). En cas de réception côté reçoit un mauvais paquet, le système rejettera et envoie un NACK (non-ACKnowledgement) à l'émetteur pour demander une retransmission (du même paquet). ARQ est pas utilisé pour le paquet de voix dans LTE. Ensuite, la tête RLC est également ajouté pour former paquet RLC. Elle est ensuite transmise à la couche MAC. Couche MAC est responsable de la correspondance entre les canaux logiques et les canaux de transport, le multiplexage de MAC SDU d'un ou plusieurs canaux logiques sur des blocs de transport (TBS). Les missions en vedette de cette couche sont CRC et d'ordonnement. CRC est utilisé dans HARQ (ARQ hybride) technique pour retransmettre une partie de paquet corrompu. Il est situé à la couche MAC et combine le codage de canal à la couche physique pour corriger et retransmettre paquet d'erreur. HARQ est l'utilisation de ARQ classique avec une technique de correction d'erreur appelé "combinaison souple", qui ne rejette les mauvaises données reçues (avec erreur). Avec la "combinaison souple" les paquets de données qui ne sont pas correctement décodés ne sont plus rejetées. Le signal reçu est stocké dans un "tampon", et sera ensuite associé à la retransmission pour la correction d'erreur. HARQ est obligatoire pour le paquet de voix dans LTE. Les principales missions du planificateur MAC sont une allocation efficace des ressources et le choix du MCS approprié. Ceci est un des éléments les plus dans le réseau LTE. Et puis, la couche MAC est également ajouté pour former paquet MAC et des bits de remplissage peut être ajouté si nécessaire. TB de la couche MAC est transmise à la couche physique. Cette couche comporte toutes les informations provenant des canaux de transport MAC sur l'interface hertzienne. Prend soin de l'adaptation de liaison (AMC), commande de puissance, recherche de cellules (à des fins initiales de synchronisation et de transfert intercellulaire) et d'autres mesures (à l'intérieur du système LTE et entre les systèmes) pour la couche RRC (Contrôle des ressources radio). L'une des principales fonctions de cette couche est le codage de canal. Le codage de canal est obligatoire pour tous les paquets de données transmis sur une interface hertzienne. Aux fins de codage de canal est de protéger les bits de données transmis sur un canal bruyant. La redondance est ajoutée à la charge utile pour atteindre

cet objectif. L'efficacité de la performance de décodage de canal est généralement effectuée en BER (Taux d'erreur de bit).

Dans cette thèse, nous présentons des solutions pour améliorer et augmenter la qualité de la voix de transmission sur les réseaux LTE pour les services audio à la fois à bande étroite et à large bande. Nos propositions se concentrent principalement sur l'habillage des défis du troisième groupe des défis de VoLTE et la deuxième et la troisième catégories de problèmes de qualité VoLTE. Nous nous concentrons également sur les éléments principaux dans les réseaux LTE, y compris le codage de canal, la programmation MAC, et la surveillance de perception des utilisateurs. Pour ce faire, il faut beaucoup de différents facteurs complétés dans les solutions. L'un d'eux est QoE (Qualité de l'expérience) qui est une nouvelle tendance. Afin de déterminer la perception des utilisateurs pour le service en temps réel tels que VoLTE, nous utilisons respectivement Modèle-E étendu et de la WB (Wideband) Modèle-E pour service audio à étroite bande et à large bande.

Cette thèse est organisée en 6 chapitres comme suit:

Dans le chapitre 1, nous présentons un aperçu de la technologie LTE et l'Modèle-E. L'objectif de ce chapitre fournit un bref aperçu de la technologie LTE, VoLTE, modèle-E, ainsi que WB modèle-E. Tout d'abord, nous présentons brièvement l'architecture LTE et les caractéristiques. Nous décrivons les principales entités de cette architecture et ses principales fonctions. Ensuite, nous présentons brièvement exigences de QoS dans les réseaux LTE. En particulier, comme LTE est un réseau All-IP, donc, chaque type de service a un porteur préciser. Cela signifie que chaque support a ses exigences de qualité de service. Ensuite, nous décrivons certaines technologies améliorées utilisées dans les systèmes LTE tels que Intervalle de temps de transport groupage et Semi-Persistent Horaires. Également dans ce chapitre, un aperçu de VoLTE est introduit. Plus précisément, nous nous concentrons sur les stratégies de déploiement pour VoLTE. Ensuite, la pile de protocoles radio de VoLTE est également décrite. Nous avons également décrit brièvement toutes les couches dans ce protocole de pile pour effacer le processus de transmission de la voix dans les réseaux LTE. Ensuite, ce chapitre décrit également brièvement le codec de source vocale (AMR-WB) qui est proposé de compléter dans le logiciel LTE-Sim dans certains de nos contributions. Le modèle-E et WB Modèle-E sont également décrits dans ce chapitre, car ils sont la colonne vertébrale des propositions dans cette thèse.

Dans le chapitre 2, nous examinons d'abord le niveau de codage de canal de la littérature, en particulier en utilisant WB Modèle-E pour le taux de codage d'adaptation source-canal conjoint. Ensuite, plusieurs algorithmes de décodage de canal qui sont basés sur l'algorithme MAP sont décrites. Deuxièmement, nous présentons l'état de l'art des

stratégies de planification dans LTE direction de liaison descendante. Pour ce travail, nous voulons trouver une stratégie qui convient pour les services vocaux et les tendances des stratégies d'ordonnancement. Nous classons également les stratégies d'ordonnancement dans le groupe en fonction de leurs caractéristiques et des rôles. Nous analysons également les "avantages et inconvénients" de chacun d'eux. Toutes ces informations sont très utiles pour l'élaboration et la présentation de nos systèmes de planification. Enfin, nous présentons des approches qui peuvent être utilisées pour prédire la qualité de la voix sur les réseaux LTE. De ce travail, nous peut trouver la méthode appropriée, ainsi que les tendances de la prévision de la qualité de la voix dans les systèmes LTE.

Le chapitre 3 présente les solutions proposées pour améliorer le codec de canal LTE (codeur et décodeur). Afin d'améliorer la transmission de la voix sur les réseaux LTE, le codage de canal joue un rôle très important. Si le codage de canal est bien exécuté, la qualité vocale sera améliorée. Le processus de codage de canal ainsi que le décodage de canal affectent directement le délai de bout en bout ainsi que BER. Cela signifie que le codec de canal mieux, la qualité vocale supérieure. Pour cet objectif, nous proposons deux solutions pour améliorer la transmission de la voix sur le réseau LTE. La première solution présente un algorithme d'adaptation dynamique de débit commun de code source-canal pour améliorer la transmission de la voix sur le réseau LTE. Pour le codage de canal LTE, il est principalement composé des schèmes: Contrôle de redondance cyclique (CRC) and Codage Turbo (TC). Un CRC est un code de détection d'erreur couramment utilisé dans les réseaux numériques et des périphériques de stockage pour détecter les changements accidentels dans les données. Les blocs de données entrant dans ces systèmes obtiennent une valeur de contrôle à court fixé, sur la base du reste d'une division polynomiale de leur contenu; sur la récupération, le calcul est répété, et des mesures correctives peuvent être prises contre la présumée corruption de données si les valeurs de contrôle ne correspondent pas. Il existe deux schèmes CRC pour un Liaison descendante physique Canal partagé (PDSCH) en LTE: "gCRC24A" et "gCRC24B". Les deux ont une longueur de 24 bits de parité, mais ils travaillent avec différents polynômes générateurs cycliques. Le "gCRC24A" se concentre sur un bloc de transport, tandis que le "gCRC24B" se concentre sur le bloc de code, qui est la segmentation d'un bloc de transport lorsque la taille d'un bloc de transport est supérieure à la limite supérieure (6144 bits). CRC est utilisé dans le protocole HARQ à la couche MAC pour la retransmission. Le schéma de codage de canal pour PDSCH adopte Turbo Coding, qui est une sorte de codage de canal robuste. Lorsque vous utilisez un canal AWGN, la performance des codes Turbo peut être proche des limites théoriques de la capacité de Shannon. Codes Turbo sont une classe de code haute performance correction d'erreur directe (FEC). Il utilise deux codes convolutifs parallèles de manière aussi appelé Parallel Concaténés code convolutionnel (PCCC). Le codage de code de Turbo naturel est 1/3

(trois bits de sortie pour les un bit d'entrée). Cela signifie, pour les autres taux de codage, Rate Matching est utilisé pour conduire des bits de parité. Un bloc de transport de m -bits à partir de la couche MAC est codée par le codeur turbo résultant en trois sous-blocs de bits générés. Ils comprennent bloc m bits de données utiles, $n/2$ bits de parité pour les données de charge utile, calculée à l'aide d'un code Convolutifs systématiques récursifs (RSC), et $n/2$ bits de parité pour une permutation connue des données de charge utile, à nouveau calculée à l'aide d'un code RSC. Cela veut dire, deux sous-blocs redondants, mais différents de bits de parité sont envoyées avec la charge utile. Donc, une redondance est ajoutée à la charge utile avec le nombre de bits redondants est n bits. Le bloc complet a $m + n$ bits de données avec un taux de code $m/(m + n)$. La permutation des données de charge utile est réalisée par un dispositif appelé un dispositif d'entrelacement. De toute évidence, le supérieur $m + n$, l'efficacité plus élevée de correction d'erreurs (performance BER). Cependant, cela conduit à la consommation de temps et de la bande passante, surtout en bon état de canal. Par conséquent, le choix du taux de code Turbo approprié est tout à fait essentiel. Ici, nous nous concentrons sur le choix du taux de code Turbo adapté en fonction du taux de code AMR-WB basée sur la perception de l'utilisateur. Afin de mesurer la qualité de la parole, nous utilisons le WB Modèle-E. Dans ce modèle, les deux délai de bout en bout et la perte de paquets sont pris en compte. Le but de cette proposition est de trouver la meilleure solution optimale pour améliorer le trafic vocal sur le réseau LTE avec certaines contraintes sur le retard autorisé maximal de bout en bout et a permis une perte de paquet maximale, et la bande passante requise. Le meilleur choix est suboptimale taux de code de canal correspondant à chaque mode de codec AMR-WB qui minimise les bits redondants générés par codage de canal avec une réduction MOS acceptable. Les résultats de simulation montrent que le gain des bits redondants réduits (G_r) peut obtenir jusqu'à 50% avec la légère réduction de la perception de l'utilisateur (MOS_r) est inférieur à 1% pour les deux cas de perte de paquets "brut" est fixée égale à 10% et est changé dans la gamme de 0..15%. Cela conduit à plus de temps et de bande passante peut être sauvegardé ou plusieurs utilisateurs mobiles peut être servi en même temps. D'ailleurs, cet algorithme peut être également intégré avec l'algorithme de contrôle de débit pour améliorer codec AMR-WB pour trouver le taux de code source approprié au lieu de fonder sur l'état du canal.

Lorsque les données sont codées à l'expéditeur par un codage de canal, puis au niveau du récepteur, il est décodé par des algorithmes de décodage de canal. Pour cette tâche, les algorithmes de décodage de canal jouent également un rôle important pour améliorer la qualité de la voix. Ceci est la raison pour laquelle nous présentons la deuxième proposition. Il est un algorithme Log-MAP amélioré pour Turbo décodage. Dans l'algorithme proposé, nous exploitons la compréhension de la fonction de régression polynomiale pour calculer approximativement le terme du logarithme (également

appelée fonction de correction) dans la fonction logarithmique jacobienne. La fonction de correction d'erreur joue un rôle très important dans les algorithmes de décodage Turbo. L'algorithme Log-MAP a la meilleure performance de BER, mais a la pire complexité de calcul tandis que l'algorithme Max-Log-MAP est contraire. Donc, il faut avoir de nouveaux algorithmes à base de MAP pour le compromis entre la performance BER et la complexité de calcul. Tel est l'objectif de l'algorithme proposé. Afin d'évaluer la performance des algorithmes proposés, on le compare au journal-MAP, Max-Log-MAP, et plusieurs algorithmes basés Log-MAP. Les résultats de simulation montrent que le projet a la performance BER qui est le plus proche de l'algorithme Log-MAP en comparaison avec les algorithmes restants alors qu'il a la complexité de calcul plus faible par rapport à l'algorithme Log-MAP. L'algorithme proposé n'a que des opérations simples, par conséquent, il peut facilement être exécuté dans le matériel.

Dans le chapitre 4, nous présentons les schèmes d'ordonnancement du systèmes de liaison descendante LTE proposés pour les trafics vocaux basés sur MQS (Taille maximale de la file d'attente), la perception de l'utilisateur et le mode priorité VoIP. L'ordonnancement est l'un des éléments les plus importants dans les réseaux LTE. L'objectif de l'ordonnancement est d'allouer des ressources radio efficacement et choisir le MCS (Schéma de codage Modulation) approprié. L'ordonnancement joue également un rôle très important pour l'amélioration de la perception des utilisateurs, spécialement pour les utilisateurs mobiles à bord des cellules. LTE utilise PDCCH (Canal de contrôle de liaison descendante physique) pour effectuer toutes les informations d'allocation pour les liaisons descendante et montante des canaux partagés. PDCCH ne peut utiliser que six ou sept symboles OFDM (Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence) dans chaque sous-trame pour effectuer DCI (Les informations de contrôle de liaison descendante). Dans LTE, le programmeur de base est un ordonnanceur entièrement dynamique (Entièrement dynamique, - FD). Dans le planificateur FD, chaque paquet de données doit associer à une signalisation de commande (un canal PDCCH) de couche 1 (L1). Cela permet de contrôler les frais généraux en LTE. LTE réalise l'ordonnancement dans tous les deux domaines de fréquence et de temps. Dans le domaine temporel, chaque trame est 10ms de longueur et est divisé en 10 sous-trames (chaque sous-trame est 1ms). Chaque sous-trame comprend deux fentes (chaque fente est 0.5ms). La programmation est effectuée dans un TTI (Temps Fréquence de transmission, 1 sous-trame). Dans le domaine fréquentiel, chaque bloc de ressource physique (PRB) comprend 12 sous-porteuses dans la bande passante de 180kHz (chaque sous-porteuse est 15kHz de longueur). Un PRB contient $6(7) \times 12$ éléments de ressources. L'ordonnanceur MAC décide l'ordonnancement de équipement d'utilisateur (Équipements de l'utilisateur - UE) normalement sur la base des critères suivants: (1) QoS de la PCRF (Fonction de règles et de charge politique) telles que la bande passante minimum garanti, la bande passante

maximale autorisée, les taux de perte de paquets, la priorité relative des utilisateurs, etc.;

- (2) Les messages des UEs concernant la qualité de canal radio, la force ou la faiblesse du signal, etc. ;
- (3) Les mesures du récepteur radio concernant la qualité de canal radio, le bruit et les interférences, etc. ;
- et (4) le statut de tampon à partir des couches supérieures d'environ la quantité de données en file d'attente en attente de transmission.

Le processus d'ordonnancement d'un ordonnanceur LTE MAC de base peut être décrite comme suit: (1) Chaque UE décode les signaux de référence, calcule la CQI (Indicateur de qualité de canal) et le renvoie à l'eNB (eNodeB - station de base); (2) Le eNB utilise les informations CQI pour les décisions d'allocation et remplit un RB "masque d'allocation"; (3) Le module AMC (Codage et modulation adaptative) sectionne le meilleur MCS qui devrait être utilisé pour la transmission de données par les utilisateurs réguliers et (4) Les informations des utilisateurs, les RBs alloués, et les MCS sélectionnés sont envoyés aux UE sur le canal PDCCH.

Il est clair que, ordonnanceur MAC ne prend pas en compte MQS ainsi que la perception de l'utilisateur dans la prise de décision d'ordonnancement. Pour cette raison, afin d'améliorer ordonnanceur MAC, les nouvelles solutions ont été proposées. Tout d'abord, nous présentons un schéma de d'ordonnancement qui est la combinaison de MQS, la perception de l'utilisateur et les modifications de l'algorithme d'ordonnancement à base de M-LWDF pour les services audio à bande étroite. Afin de prédire la satisfaction des utilisateurs, nous utilisons le Modèle-E étendu. Ensuite, comme mentionné précédemment, pour le service de VoLTE, AMR-WB est obligatoire, mais la plupart des logiciels existants qui permettent de simuler service VoLTE ne prend pas en charge ce codec vocal y compris le LTE-Sim. Pour cette raison, nous proposons de compléter le codec AMR-WB dans le logiciel LTE-Sim. Cela permet le LTE-Sim peut simuler des services audio à large bande tels que VoLTE. Nous améliorons également les propositions précédentes en fonction des services audio à large bande. Pour ce faire, le WB modèle-E est utilisé pour mesurer la perception de l'utilisateur. Comme LTE est entièrement basée sur le réseau IP, VoLTE est également déployé dans un réseau tout IP. Cela signifie VoLTE est également un service de VoIP, mais ses exigences de qualité de service sont garantis par les opérateurs de réseaux mobiles. VoLTE est un service spécial qui est très sensible aux dégradations du réseau tels que le retard, PLR, gigue, etc. Par conséquent, il doit avoir la priorité spéciale. Pour cet objectif, nous avons proposé d'intégrer le mode VoIP priorité dans nos ordonnanceurs proposées. De plus, nous étudions également plusieurs autres ordonnanceurs de paquets de liaison descendante bien connus tels que FLS, EXP/PF, M-LWDF et des algorithmes basés M-LWDF et comparer leurs performances à nos ordonnanceurs proposées. Les simulations montrent que les ordonnanceurs proposées surpassent plusieurs ordonnanceurs connus dont FLS, M-LWDF et EXP/PF en

termes de retard, le taux de perte de paquets, le débit cellulaire, l'indice de l'équité et de l'efficacité spectrale dans presque tous les cas.

VoLTE est un nouveau service amélioré dans le réseau LTE. Son déploiement est également très compliqué. Ainsi, comment surveiller et évaluer la qualité de VoLTE est un grand défi pour les MNOs. Donc, évaluation de la qualité du flux en direct tels que VoLTE est très essentiel. Dans les systèmes de communications, la qualité vocale perçue est généralement représentée comme MOS. MOS peuvent être obtenus par de nombreuses méthodes. Ces procédés sont divisés en deux groupes, appelés méthodes subjectives et méthodes objectives. Dans les méthodes subjectives: l'homme écoute un flux en direct ou un fichier enregistré et l'évalue sur un rapport de 1 (faible) à 5 (excellent). Ces procédés présentent certains inconvénients, tels que trop coûteuse, prend du temps et ne conviennent pas pour une grande infrastructure de réseau. Dans le cas contraire, des méthodes objectives ont plus d'avantages, ils éliminent les limites des méthodes subjectives. Les méthodes objectives sont classées en deux approches: les intrusives et non intrusives. Les méthodes intrusives (par exemple, l'évaluation perceptive de la qualité de la parole (PESQ) ou PESQ-WB (PESQ large bande) sont plus précis et sont largement utilisés pour prédire la qualité de la voix au courant. Cependant, ils ne sont pas adaptés pour les services en temps réel tels que VoLTE parce qu'ils exigent des signaux originaux pour se référer. Les méthodes non intrusives (par exemple, l'UIT-T Modèle-E, WB Modèle-E) sont des modèles de calcul qui sont utilisés à des fins de planification de la transmission. Ils ne sont pas aussi précises que les méthodes intrusives et ils n'ont pas d'opérations mathématiques complexes. Les résultats obtenus à partir de méthodes objectives ne sont pas toujours bien par rapport à la perception humaine. Le principal avantage des méthodes non intrusives est qu'ils prédisent la qualité vocale sans aucune référence aux signaux d'origine et qu'ils demandent moins de paramètres que les méthodes intrusives. Pour ces caractéristiques, c'est clair que, les méthodes non intrusives peuvent être appliquées efficacement pour prédire la qualité de VoLTE. Si le Modèle-E/WB Modèle-E est améliorée, il sera très approprié pour la prédiction de la qualité de la voix dans les réseaux LTE.

Afin de garantir la perception des utilisateurs, des MNOs doivent surveiller la qualité de la voix du service VoLTE pour régler les déficiences du réseau. Pour cette raison, sur la base des propositions dans les chapitres 3 et 4, dans ce chapitre, nous présentons deux modèles d'objet non intrusives pour prédire la qualité de la voix dans les systèmes LTE. Le premier Modèle-Est utilisé pour les services audio à bande étroite alors que le second est utilisé pour les services audio à large bande. Tous les deux modèles sont la combinaison du logiciel LTE-Sim avec le Modèle-E étendu et WB Modèle-E pour respectivement mesurer la qualité audio à bande étroite et à large bande. Les résultats numériques montrent que ces modèles peuvent prédire la qualité de la voix pas exactement comme

ceux des modèles intrusifs tels que PESQ, PESQ-WB, etc.; mais pour la raison qu'ils ne demandent pas la référence aux signaux d'origine, donc, ils sont donc très approprié pour la prévision de la qualité vocale en temps réel comme VoLTE.

Enfin, au chapitre 6, nous concluons nos contributions dans cette thèse. Nous évaluons également des limites de nos propositions. Ceci est la base pour continuer à trouver de nouvelles orientations de recherche pour mon travail à l'avenir. Quelques nouvelles perspectives sont aussi proposées dans ce chapitre.