Vers des solutions de navigation par satellite (GNSS) de haute précision

Par Thomas Nigg, Senior Director Product Strategy, Product Center Positioning, u-blox

Afin que la conduite complètement autonome devienne une réalité, plusieurs technologies doivent atteindre leur maturité et être mises en place de concert. L'une d'entre elles consiste en un positionnement de haute précision abordable, évolutif et fiable.

Les dernières décennies ont été témoins d'améliorations substantielles de la performance de la technologie du système mondial de solutions de navigation par satellite (GNSS). Au début des années 2000, le délai nécessaire pour l'obtention d'un premier positionnement précis est passé de plusieurs minutes à moins de trente secondes. Dans la deuxième moitié de la décennie, la sensibilité des récepteurs a considérablement progressé, passant de -130 dBm à -167 dBM. Entre 2000 et 2015, le nombre de constellations de satellites de positionnement opérationnelles est passé d'une seule constellation globale (le GPS des États-Unis), à quatre (le GPS, le GLONASS russe, le BeiDou chinois et le Galileo de l'Union Européenne), celles-ci étant complétées par deux systèmes régionaux (le NAVIC indien et le QZSS japonais). Cela a ouvert la voie aux récepteurs GNSS multi-constellation. Les signaux des satellites ont eux aussi été modernisés et le GNSS multi-bandes devrait devenir abordable dès cette année. Ces avancées préparent le terrain pour le prochain enjeu significatif du GNSS: atteindre une précision décimétrique, voire centimétrique.

Les récepteurs GNSS triangulent leur position en utilisant leur distance par rapport à quatre satellites GNSS. Parce qu'ils mesurent cette distance en fonction du temps que met le signal satellite à leur parvenir, même une erreur minimale (jusqu'à quelques milliardièmes de secondes) peut avoir un effet négatif sur la précision. Les erreurs de position orbitale des satellites peuvent entraîner des pertes de précision de l'ordre de 2,5 mètres. Les erreurs d'horloge des satellites peuvent ajouter 1,5 mètre d'erreur supplémentaire. Et les perturbations dans la troposphère et dans l'ionosphère peuvent ajouter respectivement un et cinq mètres additionnels d'erreur, voire plus si le satellite est proche de l'horizon ou lors de périodes d'intense activité solaire. L'erreur la plus importante est de loin causée par les effets de trajets multiples, lorsque les signaux satellites parviennent au récepteur par des trajectoires multiples ou indirectes, en rebondissant sur les murs des bâtiments dans les canyons urbains par exemple. Dans des conditions de ciel ouvert, la précision standard des récepteurs GNSS est de l'ordre de deux mètres.

Les systèmes de haute précision GNSS améliorent considérablement la précision en utilisant des données de correction GNSS pour annuler les erreurs GNSS. L'une des manières d'obtenir ces données consiste à contrôler les signaux GNSS à partir d'une station de référence située dans un lieu donné. Les déviations par rapport à la localisation de la station de référence sont observées et envoyées à un rover (un véhicule piloté ou télécommandé équipé d'un récepteur GNSS) lui permettant ainsi d'obtenir une lecture de positionnement plus précise. Dans des conditions favorables, cette approche peut être utilisée pour

atteindre des niveaux de précision de l'ordre du centimètre, sous réserve que la station de référence et le rover ne soient pas trop éloignés.

Cependant, l'utilisation d'une telle approche ne permet pas d'éliminer toutes les erreurs GNSS. De par le fait que les signaux satellites parvenant aux stations de référence sont sujets aux mêmes types d'erreurs affectant les signaux destinés aux rovers, les données de correction peuvent être utilisées pour éliminer les erreurs d'horloge et de position satellite ainsi que les erreurs atmosphériques. En revanche, les erreurs de trajets multiples, causées par l'environnement immédiat du rover tels que des bâtiments en hauteur, doivent être résolues par le récepteur lui-même.

Le GNSS de haute précision n'est pas nouveau. Cela fait des décennies que les géomètres et autres professionnels ont accès à cette technologie. Mais le coût élevé des appareils et la dépendance envers des services de correction onéreux ont empêché cette technologie de se développer en dehors de ce créneau spécialisé. La nouveauté à présent est que nous avons accès à des technologies rendant le GNSS de haute précision attractif pour le marché de masse. Cela rend possible des applications telles que la navigation précise à l'échelle de la voie de circulation, la réalité augmentée, les vols et atterrissages de précision pour les drones, les tracteurs et tondeuses télécommandés, et la communication sans fil vehicle-to-everything (V2X) permettant aux véhicules connectés de communiquer à distance avec d'autres véhicules ou avec des infrastructures routières pour éviter les collisions. Bien d'autres applications verront sans doute le jour au fur et à mesure que la technologie s'implante.

Amener le positionnement de précision au marché de masse

Il existe deux méthodes permettant aux fournisseurs de service de correction d'envoyer des données d'erreur GNSS aux rovers. Seule l'une d'entre elles peut être développée dans le but de satisfaire aux besoins du marché de masse. La première de ces deux approches est basée sur l'OSR (observation space representation) dans laquelle les fournisseurs de service de correction calculent les erreurs d'observation attendues à la localisation de chaque rover et leur transmettent ces informations à distance. À l'opposé, dans les approches basées sur la SSR (state space representation), les erreurs de signal GNSS observées sont utilisées pour modéliser physiquement les erreurs sur toute une région en tant que modèle d'espace d'état. Les paramètres décrivant à tout moment la représentation dans l'espace d'état sont ensuite diffusés aux rovers à travers la région modélisée.

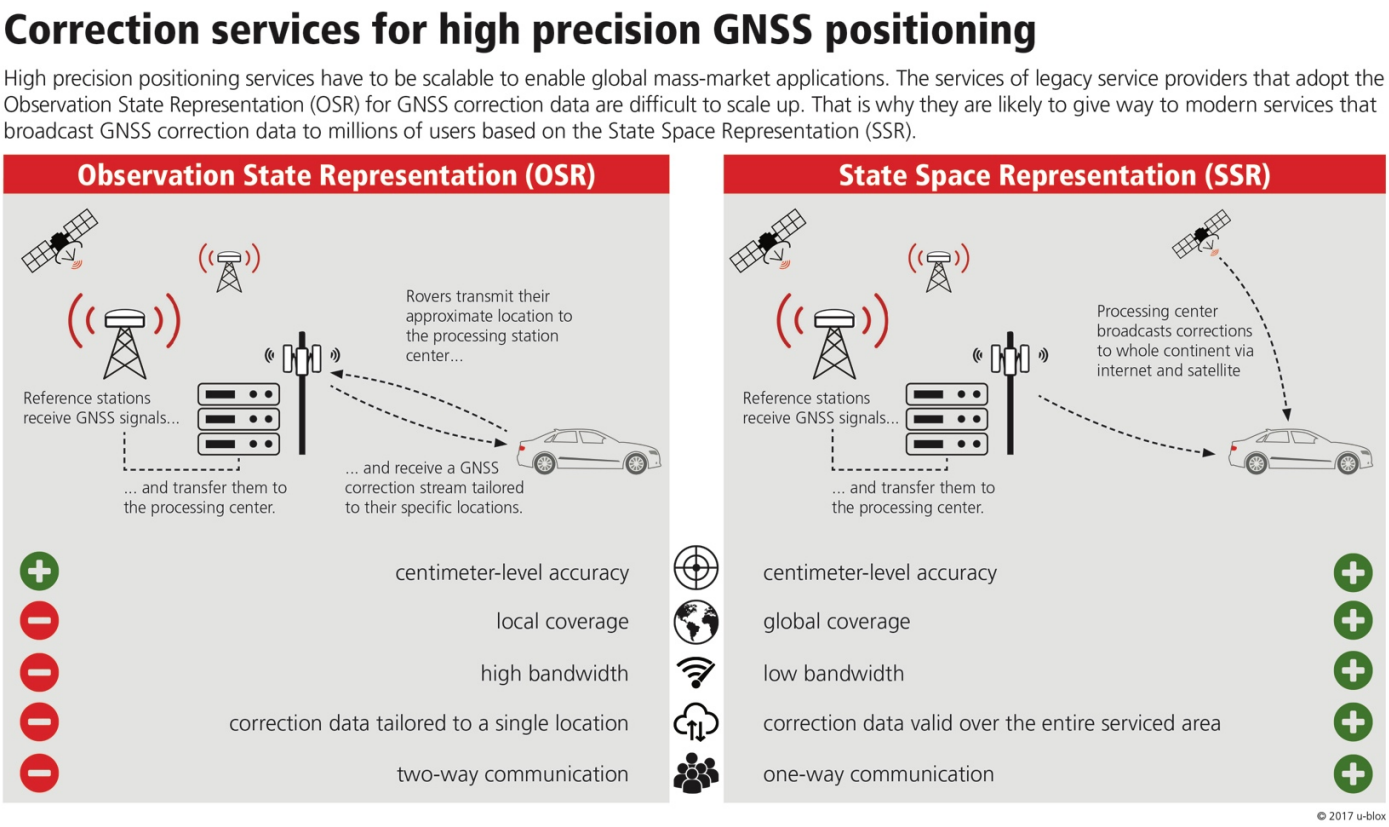


Image 1: OSR (Observation space representation) versus SSR (State space representation)

L'OSR est utilisée dans la navigation par satellite cinématique en temps réel (Real Time Kinematic) et par les réseaux RTK correspondants. Elle est utilisée de nos jours dans des contextes nécessitant une précision de positionnement au centimètre, voire au millimètre près. Ces approches sont précises quand la station de référence et le rover sont éloignés d'une distance inférieure à 30 kilomètres. Les approches basées sur l'OSR nécessitent une communication réciproque entre le rover et le fournisseur de service de correction. Dans l'éventualité d'une adoption massive, les réseaux de communication mobile seraient dans l'incapacité de supporter de manière fiable un tel niveau de communication et sont, par conséquent, peu adaptés à des applications pour le marché de masse. Les approches basées sur la SSR évitent cet écueil en diffusant un flux de données de correction unique à tous les rovers sur l'intégralité de la zone couverte. Cette communication simplifiée et l'aptitude à offrir un service fiable pour une densité de stations de référence relativement basse (150-250 kilomètres) en font la seule approche envisageable pour des applications pour le marché de masse telle que la conduite assistée.

L'amélioration de la performance viendra aussi d'une avancée dans le matériel des récepteurs, les rendant ainsi capables de recevoir plus d'informations de la part des satellites. Alors que la première génération de satellites GNSS ne pouvait transmettre des signaux que sur une seule bande de fréquence, les systèmes de navigation satellite actuels envoient leur signal sur trois bandes séparées. Le GPS américain par exemple transmet sur les bandes L1, L2 et L5, respectivement centrées sur les fréquences 1575 MHz,

1227 MHz et 1176 MHz. Le GLONASS russe et le BeiDou chinois transmettent seulement sur les bandes L1 et L2. Les récepteurs pour le GNSS de haute précision peuvent bénéficier de bandes de fréquences multiples associées à une constellation unique pour réduire considérablement le temps nécessaire à un haut niveau de précision. En résultent une performance de positionnement notablement accrue et en fin de compte un service plus fiable pour l'usager.

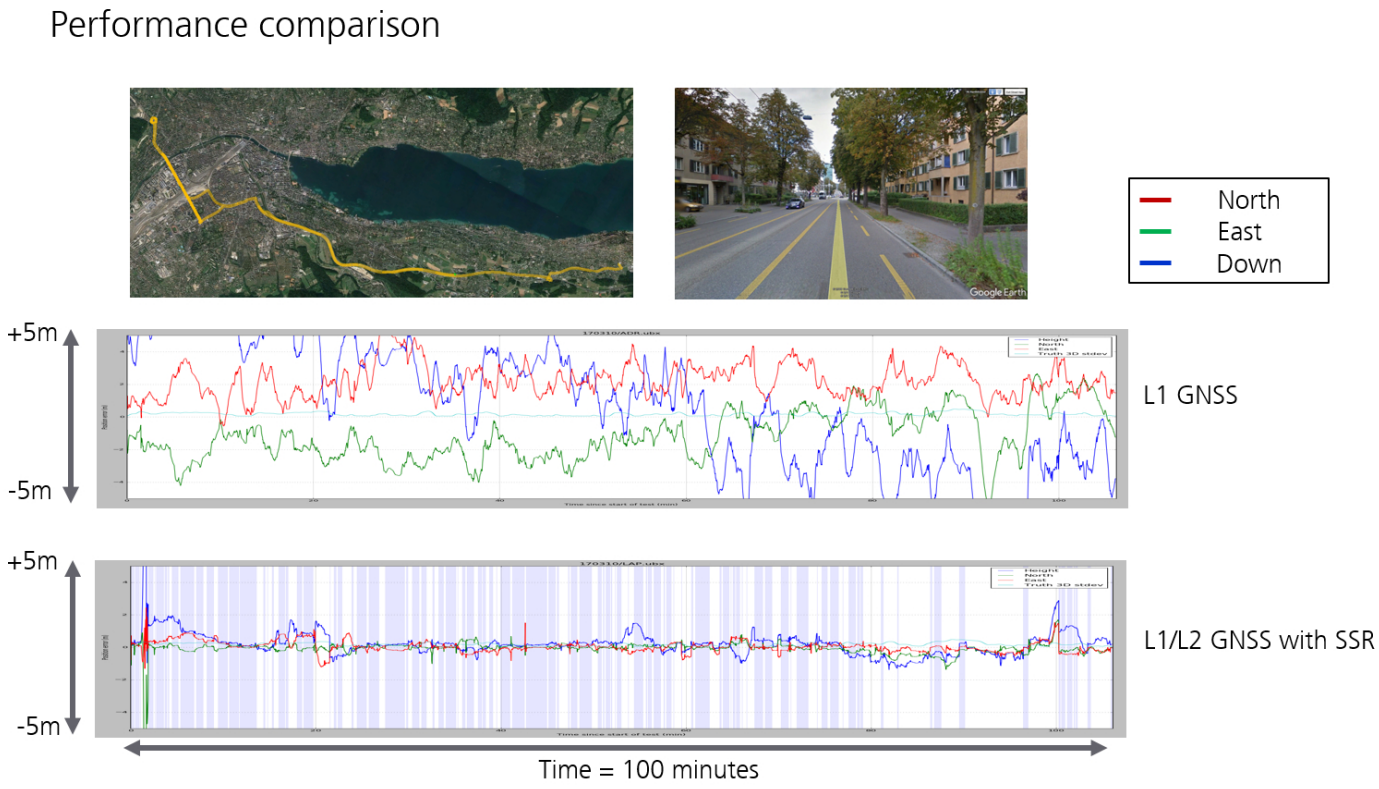


Figure 2: Comparaison de performance entre GNSS à bande unique et GNSS à bande double avec correction de données SSR

Les futurs systèmes GNSS de haute précision seront composés de multiples éléments, dont les plus évidents sont les constellations GNSS actuellement en orbite. Au sol, les stations de référence GNSS contrôleront les erreurs de signal GNSS en temps réel. En adoptant l'approche basée sur la SSR, les services de correction diffuseront ensuite les composantes d'erreur sur Internet et via les satellites géostationnaires. En plus d'un récepteur GNSS à bande double, les rovers seront équipés d'un modem cellulaire pour recevoir les flux de corrections diffusés sur Internet et d'un récepteur L-band pour capter le flux de corrections satellite.

Un positionnement de haute précision pour la conduite autonome

Alors que la flotte de véhicules actuelle est encore dominée par des véhicules entièrement contrôlés par le conducteur, un nombre croissant d'entre eux offre au moins un certain niveau de conduite assistée. Une

conduite complètement autonome exige d'augmenter progressivement le niveau d'automatisation dans des cas d'utilisation spécifiques, tels qu'autoroute ou stationnement. Même si à l'heure actuelle les conducteurs bénéficient d'un certain niveau de conduite assistée (Niveau 1 dans la figure ci-dessous), ils doivent encore gérer le maintien sur la voie et les manœuvres de changement de voie. Certaines voitures en circulation aujourd'hui en sont déjà au Niveau 2 avec des systèmes partiellement automatisés qui gèrent ce genre d'actions de manière autonome dans certains cas d'application spécifiques. Pour la conduite hautement automatisée (Niveau 3), les conducteurs auront la possibilité de lâcher le volant dans certains cas d'application spécifiques mais devront rester prêts à le reprendre si nécessaire. La conduite complètement automatisée (Niveau 4) ne nécessitera plus de conducteur, sauf dans certains cas d'utilisation spécifiques. Ce n'est que lorsque tous ces niveaux seront passés que nous serons capables d'étendre l'applicabilité des véhicules sans conducteur à tous les cas d'utilisation (Niveau 5).

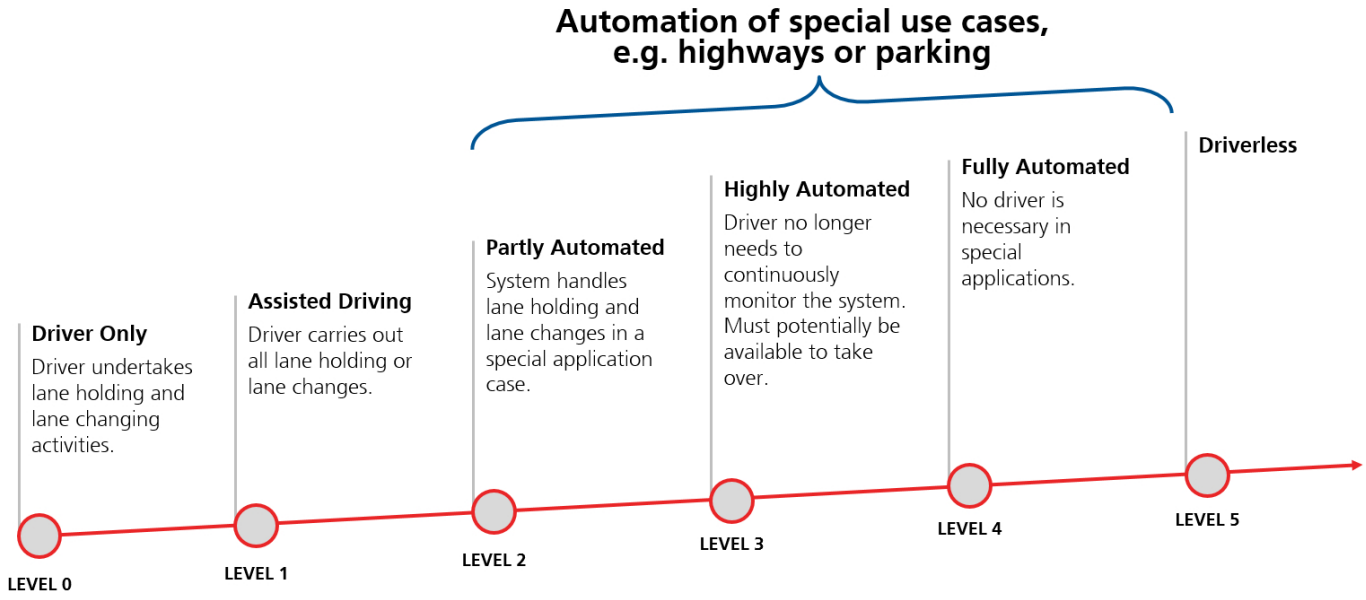


Image 2: Feuille de route vers la conduite autonome

Un ensemble de technologies sera nécessaire pour répondre aux impératifs de sécurité pour la conduite autonome. L'association d'images caméra, et de données lidar et radar avec des cartes de haute définition permet aux véhicules de se positionner très précisément sur la carte (approximativement 10 centimètres) et de détecter les obstacles dans de nombreuses conditions d'utilisation. Cela étant dit, ces systèmes à eux seuls ne sont pas suffisamment sûrs pour rendre le conducteur obsolète. Pendant la transition vers une conduite complètement automatisée, la précision du positionnement du véhicule déterminera si le mode de conduite autonome peut être enclenché. De mauvaises conditions extérieures ou une absence de points de repère distinctifs pourraient empêcher les systèmes optiques de déterminer correctement le cas d'utilisation, une situation délicate pour les systèmes de Niveau 4 pour lesquels le conducteur peut, dans certaines situations, céder totalement le contrôle du véhicule.

C’est dans ces situations particulières que le GNSS de haute précision en association avec la navigation automobile à l’estime (automotive dead reckoning), qui allie les données de navigation satellite à la vitesse de chaque roue et aux informations du gyroscope et de l'accéléromètre pour offrir un positionnement précis en l’absence de GNSS, apparaît en tant que source de positionnement entièrement indépendante. La localisation précise qu’il offre peut aider non seulement à identifier les bons segments de cartes de haute définition et les zones critiques de gardiennage virtuel (Geo-fence) pour réduire la vitesse par exemple, mais aussi à calibrer les capteurs du véhicule. Ce n’est que lorsqu’un tel système sera en place, qu’il deviendra possible de répondre aux impératifs de sécurité pour les voitures autonomes décrits dans la norme ISO 26262. Ceux-ci incluent la sécurité fonctionnelle et la capacité du véhicule à répondre de manière sûre aux erreurs, que ce soit à un niveau matériel ou logiciel, tout en garantissant la sécurité des passagers.

La sécurité fonctionnelle est une condition indispensable à des véhicules autonomes sûrs. Cependant, elle est loin d’être suffisante. La sécurité fonctionnelle est centrée sur la voiture dans le sens où elle gère les erreurs qui peuvent se produire dans le véhicule. Pour le positionnement, les principales sources d’erreur (horloge et position du satellite, effets de trajets multiples ou problèmes potentiels dans le flux de corrections) sont externes au véhicule. Par conséquent, un véhicule fonctionnellement sûr ne verrait aucune raison de rejeter des données erronées. Prendre en compte de telles erreurs externes demande une approche plus holistique, que l’on pourrait appeler «intégrité». Au contraire de la sécurité fonctionnelle, l’intégrité gérerait systématiquement l’intégralité de la chaîne technologique, intégrant les différents capteurs, les infrastructures V2X et les systèmes de sécurité à tous les niveaux. Cela nécessite que toutes les technologies, y compris le GNSS, fournissent un indice de confiance dans leurs résultats afin d’avertir lorsqu’une technologie alternative devrait être utilisée en remplacement.

La voie vers une haute précision du GNSS est un élément clé dans l’établissement de systèmes avancés d’assistance au conducteur (ADAS) et de la conduite complètement autonome d’une façon qui améliore la sécurité routière. En tant que source d’informations de positionnement, le GNSS de haute précision, rendu possible en utilisant des récepteurs multi-bandes et des données de correction SSR, offrira de manière fiable un positionnement garanti du véhicule et ce quelles que soient les circonstances. Enfin, il devra se montrer précis au niveau décimétrique sur autoroutes ouvertes et en deçà du mètre sur des autoroutes urbaines plus exigeantes, assurant non seulement que le positionnement rapporté est précis, mais aussi qu’il l’est à un degré de probabilité extrêmement élevé. De plus, pour qu’il soit adopté en masse par le marché, il devra être à la fois qualitativement irréprochable et abordable.

u-blox s’est engagé sur la voie du GNSS de haute précision en 2016 avec le lancement du NEO-M8P, de loin le récepteur RTK le plus petit et le moins gourmand en énergie du marché. En 2017, Sapcorda, une joint-venture en association avec Bosch, Mitsubishi Electric et Geo++ a été lancée afin d’apporter un service de correction GNSS global et abordable, compatible avec les applications du marché de masse. En

février 2018, la nouvelle plateforme technologique u-blox F9 a été annoncée. Elle offre une technologie de positionnement de haute précision polyvalente pour des applications industrielles et automobiles. Orienté vers le futur, u-blox s’engage à combler les lacunes qui se dressent sur le chemin de l'avènement de systèmes hautement et complètement autonomes, en particulier la conduite autonome.