

Halo3D : une Technique pour Visualiser les Points d'Intérêt Hors-Champ en Réalité Augmentée Mobile

Halo3D: a Technique for Visualizing Off-screen Points of Interest in Mobile Augmented Reality

Patrick Perea^{1,2}
¹ Univ. Grenoble Alpes
CNRS, Grenoble INP, LIG
38000 Grenoble, France
patrick.perea@imag.fr

Denis Morand²
² Schneider Electric
06516 Carros, France
denis.morand@schneider-electric.com

Laurence Nigay¹
¹ Univ. Grenoble Alpes
CNRS, Grenoble INP, LIG
38000 Grenoble, France
laurence.nigay@imag.fr

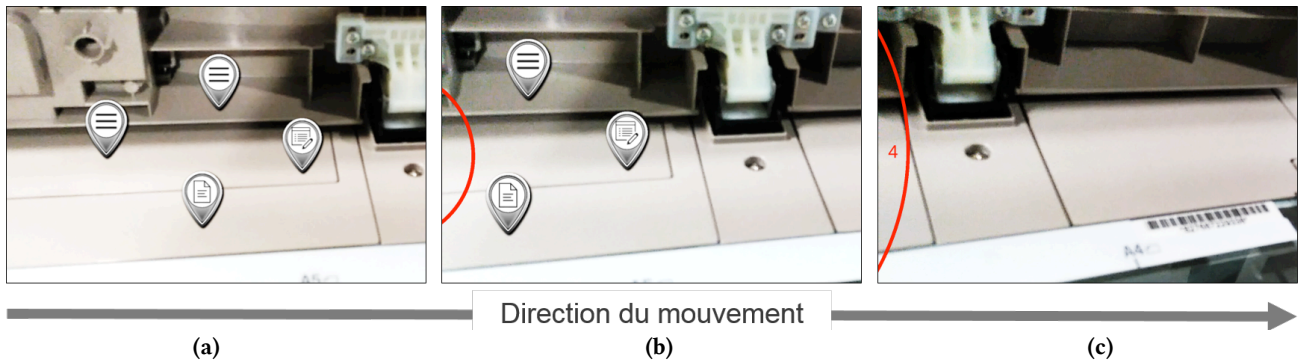


Figure 1 : Halo3D indiquant la position des points d'intérêts hors-champ sur tablette lors d'une translation de gauche à droite de l'utilisateur (a) 4 POIs sont présents dans le champ de vision de l'utilisateur (b) Visualisation d'un POI hors-champ par un arc de cercle (c) Visualisation de 4 POIs hors-champ de façon agrégée.

ABSTRACT

When working with mobile Augmented Reality (AR), users often need to visualize off-screen points of interest (POIs). These POIs belong to the context since they are not directly observable in the 3D first-person view on screen. The aim is to present the 3D direction and distance of each POI in a 3D first-person view. The context in mobile AR can include a large number of POIs including locally dense clusters as in mobile AR systems for production plant machine maintenance.

Existing solutions display 3D arrows or an area on the edges of the screen to represent the POIs of the context. These techniques display the direction but not the distance of each POI. We present Halo3D, a mobile AR adaptation of a 2D visualization technique. Halo3D displays the 3D direction and distance of off-screen POIs in a high POI-density environment. The paper describes the design elements of Halo3D and

outlines the experimental study to be conducted. The first experimental results indicate that users prefer visual attributes that minimize the visual intrusion on screen.

CCS CONCEPTS

• **Human-centered computing** → Mixed / augmented reality

KEYWORDS

Augmented reality, mobility, visualization, off-screen points of interest, Halo.

RÉSUMÉ

En Réalité Augmentée (RA) mobile, le besoin de visualiser les points d'intérêts (POIs) en dehors du champ de vision de l'utilisateur est très fréquent. Ces POIs appartiennent au contexte car ils ne sont pas visibles dans la vue 3D égocentrique de l'écran. L'objectif est de présenter la direction et la distance en 3D des POIs du contexte au sein d'une vue 3D égocentrique. Or la densité des POIs peut être particulièrement importante, comme en RA mobile pour la maintenance industrielle.

Les solutions existantes affichent des flèches 3D ou une zone sur le bord de l'écran pour représenter les POIs. Ces techniques ne permettent de visualiser que la direction et non la distance des POIs. Nous présentons Halo3D, une adaptation pour la RA mobile d'une technique de visualisation 2D.

© ACM, 2017. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme- Machine, IHM'17, August 28–September 1, 2017, Poitiers, France
<https://doi.org/10.1145/3132129.3132144>

Halo3D affiche la direction et la distance en 3D des POIs du contexte qui peuvent être très nombreux. L'article définit les éléments de conception de Halo3D et présente le protocole d'une étude expérimentale pour explorer l'espace de conception. Les premiers résultats expérimentaux montrent que les utilisateurs choisissent les solutions visuelles qui minimisent l'intrusion à l'écran.

MOTS-CLEFS

Réalité augmentée, mobilité, visualisation, points d'intérêt hors-champ, Halo.

1 INTRODUCTION

En Réalité Augmentée (RA) mobile, rechercher des objets dans son environnement est un besoin fréquent. Le champ de vision de l'utilisateur est celui de la caméra du dispositif mobile. Dans ce contexte, la demande est d'acquérir des informations sur des objets en dehors de ce champ de vision : comment indiquer des points d'intérêts (POIs), objets numériques ancrés dans le monde physique, dans la vue 3D égocentrique affichée sur l'écran du dispositif mobile. Nous motivons ce besoin par trois scénarios en maintenance industrielle.

Scénario 1 : Les machines qui effectuent de la soudure à vague pour les cartes électroniques sont des appareils très imposants (Fig. 2). Une maintenance effective de l'équipement nécessite de pouvoir consulter en temps réel de nombreuses variables techniques, liées à la consommation énergétique, aux variateurs de vitesse (rotation par minutes, etc.) ou encore aux alarmes signalant un manque de matières premières. Ces points d'intérêts peuvent être localisés sur toute la longueur de la machine.



Figure 2 : Four à souder (a) fermé (b) ouvert.

Scénario 2 : Un autre cas d'utilisation concerne la panne d'une armoire électrique (Fig. 3). L'opérateur coupe le courant à un point précis de l'installation électrique (procédure de consignation) pour effectuer la réparation. Une fois les travaux terminés, le courant est remis en charge. Il y a alors un ordre d'enclenchement des disjoncteurs : l'opérateur remonte la chaîne de disjonction, chaque disjoncteur constituant un point d'intérêt à localiser.

Avec ces deux scénarios, nous illustrons deux types de tâches que peuvent effectuer les opérateurs de maintenance :

- Scénario 1 : connaître l'état global de la machine sans avoir une destination précise (par ex. parcourir toutes les variables techniques), noté tâche d'exploration [7].

- Scénario 2 : se diriger vers un point bien défini de l'appareil (par ex. se diriger vers un disjoncteur précis), noté tâche de navigation [7].

Scénario 3 : Enfin, dans le cas d'une maintenance préventive, les opérateurs effectuent des « campagnes ». Une campagne est une même tâche répétée X fois sur une machine. Resserrer tous les écrous, ou graisser tous les moteurs d'une machine constitue des campagnes. Chaque écrou ou moteur est un point d'intérêt. Il est ici utile pour l'opérateur de connaître la distance des POIs afin de s'orienter vers le plus proche de sa position et ainsi optimiser son temps de travail.

Dans ce contexte de maintenance industrielle, l'objectif de la RA mobile est de fournir des informations supplémentaires sur l'état de la machine (Fig. 3) et d'étendre la connaissance spatiale de l'utilisateur pour le guider vers les POIs. Il n'est cependant pas possible de visualiser simultanément tous les POIs sur l'écran. Le champ de vision restreint de la caméra utilisée limite la connaissance spatiale de l'utilisateur et implique des rotations fréquentes de l'utilisateur autour de lui-même pour explorer son environnement. La difficulté est d'autant plus importante lorsqu'un appareil mobile avec un écran de taille réduite est utilisé. Ceci entraîne le besoin de définir de nouvelles techniques de visualisation pour indiquer la localisation des objets situés hors du champ de vision de l'utilisateur, sans surcharger l'écran ni masquer la vue courante. Or le nombre de POIs hors-champ peut être très important (Fig. 3).

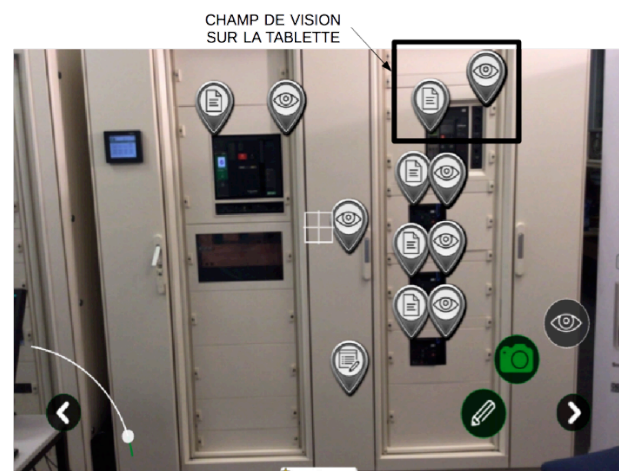


Figure 3 : Copie d'écran d'une application Schneider Electric de RA mobile devant une armoire électrique. Vue globale de tous les POIs (12 POIs) alors que l'opérateur de maintenance est loin de l'armoire. L'utilisateur se rapproche pour obtenir plus de détails et pointe la tablette vers la partie haute de l'armoire. Le rectangle noir indique le champ de vision obtenu sur l'appareil mobile. L'enjeu est alors de connaître la localisation et distance des 10 autres POIs hors-champ sans surcharger l'écran de la tablette.

En réponse au besoin ci-dessus, nous proposons Halo3D, une technique pour visualiser les POIs hors-champ en réalité augmentée mobile. Les contributions de cet article sont les suivantes :

- Une nouvelle technique de visualisation (Halo3D) pour la réalité augmentée mobile qui est adaptée d'une méthode de

visualisation 2D existante (Halo) [1] : la technique fournit des indications sur la localisation 3D des POIs du contexte, ces indications étant affichées dans la vue 3D égocentrique de RA.

- Un nouvel algorithme d'agrégation de POIs adapté à la RA pour éviter les chevauchements de la visualisation Halo classique.

- Une proposition d'étude expérimentale sur la meilleure manière de traduire visuellement la distance à vol d'oiseau entre un POI hors-champ et l'utilisateur, permettant une meilleure compréhension du contexte non visible et ainsi une navigation plus efficace vers les POIs.

2 TRAVAUX EXISTANT

2.1 Visualisation d'objets hors-champ en 2D

Plusieurs techniques existent pour indiquer la localisation, la direction et la distance en 2D d'un objet situé hors de l'écran.

La technique Halo [1] permet de visualiser la localisation et la distance des objets du contexte non visible. La technique consiste à tracer un cercle dont le centre est l'objet distant et le rayon est la distance entre le POI et le bord de l'écran (Fig. 4). Le cercle est partiellement visible sur le bord de l'écran (intrusion minimale sur l'écran) et permet à l'utilisateur de compléter mentalement le cercle à partir de l'arc visible pour connaître la position du POI hors-champ. La technique atteint cependant ses limites lorsque le nombre de POIs non visibles est important : les nombreux arcs de cercles dessinés se chevauchent et nuisent à la bonne lisibilité de l'interface.

La technique Wedge [10] traite cette limitation en proposant un triangle (Fig. 5) au lieu d'un cercle. L'utilisateur extrapole mentalement les segments du triangle pour estimer leur intersection et ainsi la position du POI distant. Wedge évite les chevauchements par rotation des triangles. La visualisation fournit des indications de distance sur les POIs grâce à l'espacement des segments (l'ouverture) et à l'intrusion dans l'espace visible. Plus l'objet est loin et plus l'ouverture est grande et l'intrusion dans l'espace visible est importante. Wedge résout le problème des chevauchements mais son inconvénient majeur reste l'intrusion sur l'écran, qui nuit à la lisibilité de l'interface.

EdgeRadar [9] est une technique de visualisation basée sur le principe du focus+contexte [6] : la technique consiste à dédier une petite portion sur chacun des bords de l'écran pour afficher les zones non visibles de l'environnement (contexte), tandis que la région centrale constitue la zone de travail zoomée de l'utilisateur (focus) (Fig. 6). Les POIs distants sont alors affichés sous la forme d'icônes miniatures dans la zone du contexte. EdgeRadar permet de visualiser la totalité des POIs du contexte, ainsi que leur rapprochement/éloignement les uns par rapport aux autres. Cette information sur la relation spatiale entre POIs n'est pas observable avec les techniques Halo ou Wedge. Une comparaison entre les deux techniques Halo et EdgeRadar [9] montre une amélioration de la précision du suivi de cibles hors-champ grâce à EdgeRadar, et une préférence des utilisateurs pour cette technique de visualisation. EdgeRadar atteint cependant ses limites en cas de forte densité de POIs avec une zone de contexte surchargée et devenant illisible.

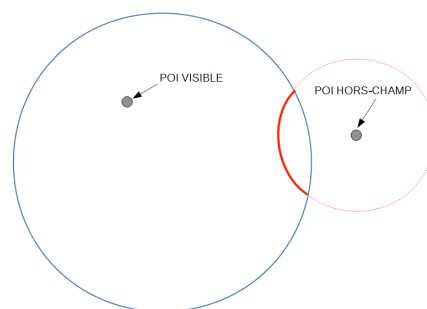


Figure 4 : Technique de visualisation Halo 2D [1] pour un seul POI du contexte hors de l'écran (schéma inspiré de [1])

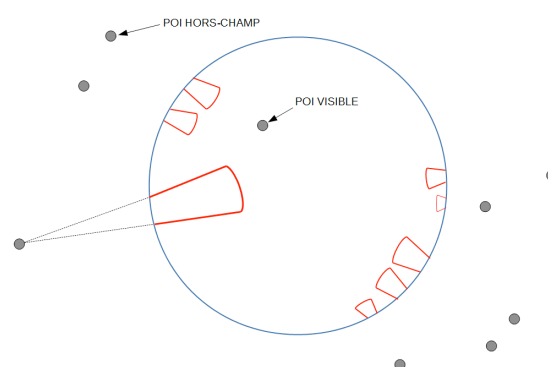


Figure 5 : Technique de visualisation Wedge de plusieurs POIs du contexte hors de l'écran (schéma inspiré de [10])

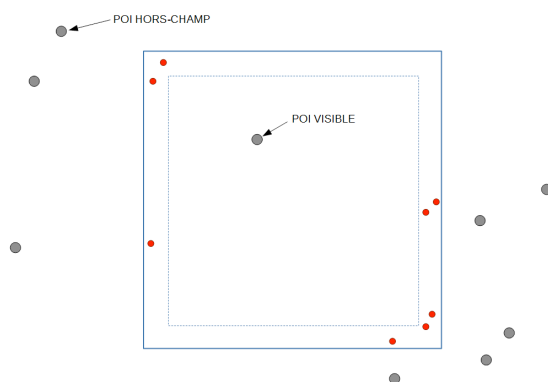


Figure 6 : Technique de visualisation de type Focus+Contexte EdgeRadar (schéma inspiré de [9])

2.2 Visualisation d'objets hors-champ en 3D

L'utilisation de flèches 3D [5] permet d'indiquer la direction 3D à suivre pour atteindre les POIs hors-champ. Les flèches sont implémentées directement sur une vue égocentrique. La navigation est améliorée car l'utilisateur sait si le POI se trouve devant ou derrière lui. Dans le cas où le nombre de POIs hors-champ est important, l'occlusion entre les flèches

(Fig. 7) limite cependant les performances de navigation de l'utilisateur.

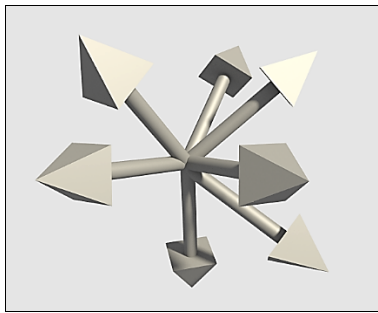


Figure 7 : Occlusion entre des flèches 3D (schéma inspiré de [12])

Pour traiter la forte densité de POIs, Aroundplot [12] propose une visualisation basée sur le principe du focus+contexte, adaptée à la RA. Similaire à la technique EdgeRadar 2D (Fig. 6), une portion sur chacun des bords de l'écran (zone de contexte) est réservée à la visualisation des POIs distants, en indiquant leur localisation dans toutes les directions possibles. La région située sur le bord droit de l'écran affiche par exemple une miniature de tous les POIs qui sont accessibles si l'utilisateur effectue une rotation sur sa droite. La taille restreinte de la zone de contexte entraîne toutefois une difficulté à estimer l'amplitude de rotation nécessaire pour ramener un POI hors-champ dans la zone du focus. Aroundplot propose donc une technique d'interaction qui amplifie dynamiquement le contexte dans la direction du mouvement de l'utilisateur, afin de fournir plus de détails sur cette partie de l'environnement.

Une expérience comparative des trois techniques de visualisation, radar 2D, flèches 3D et Aroundplot, montre que les participants ont suivi des cibles hors-champ avec un taux d'échec et un temps de complétion beaucoup moins importants grâce à Aroundplot. L'occlusion entre les flèches a en effet causé de nombreux abandons, tandis que la vue radar 2D ne fournit aucune information sur la hauteur des POIs. Aroundplot permet donc la visualisation d'une grande quantité de POIs hors-champ dans toutes les directions possibles. Cependant, la technique ne représente pas la profondeur, c'est-à-dire la distance entre le POI et l'utilisateur.

La technique 3D Halo Circle [14] lève cette limitation en permettant à l'utilisateur de déterminer la direction et la distance des POIs hors-champ dans un environnement 3D de réalité virtuelle. Basé sur la visualisation Halo 2D, le rayon du cercle indique la distance à vol d'oiseau entre le POI et l'utilisateur. Ce dernier a l'impression d'être positionné au sein du cercle. Cependant, plus le POI est loin, et plus l'intrusion dans l'espace visible est importante. Il devient difficile d'estimer le rayon du cercle et donc d'estimer la localisation du POI. De plus, la visualisation de nombreux POIs implique des chevauchements importants : l'utilisateur devient alors incapable de compléter mentalement les cercles pour connaître la position des POIs.

2.3 Synthèse et objectif

La littérature existante sur la visualisation de POIs hors-champ ne traite que partiellement la 3^{ème} dimension, la profondeur.

Les flèches 3D sont utiles pour pointer une direction dans l'espace mais n'indiquent pas si l'objet est loin ou près de l'utilisateur. La technique Aroundplot affiche les cibles autour de l'utilisateur mais ne donne aucune indication de distance. La technique 3D Halo Circle implémente une solution qui prend en compte la profondeur mais dont l'intrusion sur l'espace visible est bien trop importante pour pouvoir être exploitée dans le contexte de la RA mobile. Aroundplot est la seule technique à être efficace pour visualiser une forte densité de POIs mais ne traite pas la profondeur des POIs.

L'objectif est donc de concevoir une technique de visualisation qui indique la direction et la distance des POIs hors-champ, tout en gérant la forte concentration de POIs. Cet objectif est motivé par l'état de l'art des techniques de visualisation et par les besoins en RA mobile comme en maintenance industrielle. La technique de visualisation Halo3D que nous proposons répond à cet objectif et s'applique à la RA mobile. Nous présentons cette technique en explicitant et organisant les éléments de conception qui justifient le rationnel de sa conception.

3 HALO3D : ELEMENTS DE CONCEPTION

La technique de visualisation des POIs hors-champ que nous proposons repose sur une adaptation de la technique Halo (2D) [1]. Halo (2D) a été montré simple à comprendre et minimise l'espace occupé sur l'écran. Les deux questions liées à cette adaptation pour la RA mobile sont donc : la représentation de la profondeur (section 3.1) et la gestion d'une grande quantité de POIs (section 3.2).

3.1 3^{ème} dimension : profondeur

En réalité augmentée mobile, deux types d'information sont à considérer pour améliorer la connaissance spatiale de l'utilisateur sur son environnement :

- l'amplitude du mouvement à réaliser pour ramener un POI hors-champ sur l'écran ;
- la distance physique entre un POI et l'utilisateur.

La technique de visualisation Halo3D est basée sur la technique Halo (2D) [1]. En RA mobile, l'utilisateur travaille sur une vue 3D égocentrique. Or Halo (2D) a été conçu pour indiquer la localisation et la distance des objets hors-champ, selon une vue 2D orthographique par-dessus (cartographie). Pour adapter Halo à un environnement 3D, nous projetons les POIs sur le plan de l'écran du dispositif mobile. La distance du POI projeté sur le plan du dispositif est notée *Distance 2D*, explicitée à la figure 8-a. Pour visualiser cette distance 2D nous traçons ensuite un cercle dont le rayon est la distance entre la projection du POI et le bord de l'écran plus un offset pour que le cercle soit partiellement visible sur l'écran. Pour un POI contenu dans le champ de vision de l'utilisateur (Fig. 8-b), une rotation de l'appareil mobile vers la droite le fait sortir du champ et fait apparaître un cercle sur le bord gauche de l'écran (Fig. 8-c). Le cercle s'agrandit tant que la projection du POI s'éloigne du bord de l'écran (Fig. 8-d). La distance 2D traduit donc l'amplitude du mouvement à réaliser pour ramener un POI hors-champ sur l'écran : plus le cercle est grand, et plus l'utilisateur devra réaliser un mouvement ample pour que le POI revienne dans son champ de vision.

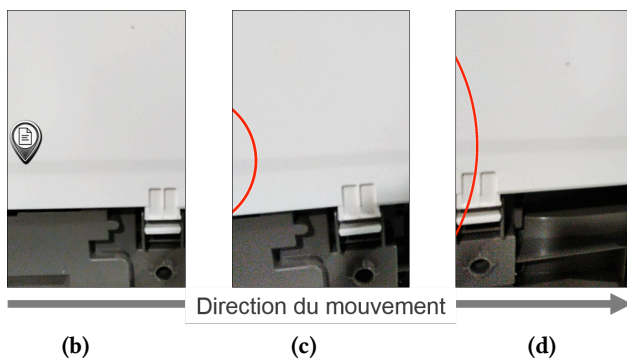
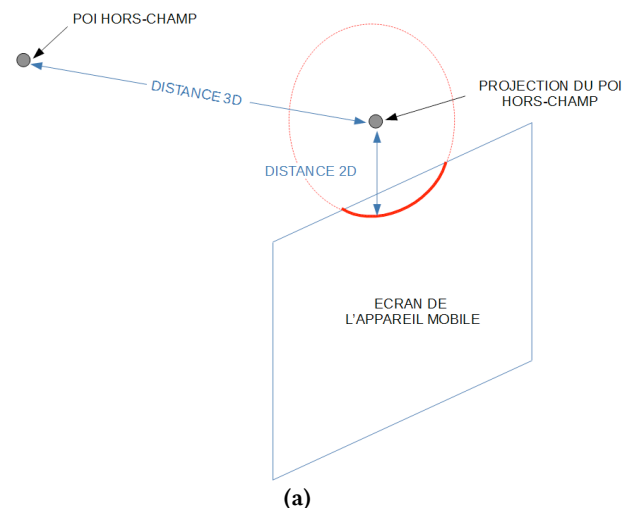


Figure 8 : Halo3D et distance 2D (a) Schéma expliquant le calcul de la distance 2D dans le cas d'un POI hors-champ. (b) 1 POI est présent dans le champ de vision de l'utilisateur. (c) L'utilisateur effectue un déplacement de gauche à droite, le POI est maintenant hors-champ et est indiqué par un arc de cercle. (d) L'arc de cercle est agrandi car la distance 2D du POI est plus grande.

Prenons maintenant le cas de deux POIs alignés horizontalement mais tels que l'un soit placé derrière l'autre. La figure 9-a illustre la position de l'utilisateur et de deux POIs placés sur une machine selon une vue orthographique par-dessus. Lorsqu'ils sont hors du champ de vision de la caméra, la technique de visualisation trace deux cercles de rayon identique (Fig. 9-b). En effet, les projections respectives des POIs se situent à la même distance du bord de l'écran. Il n'y a donc aucun moyen de distinguer quel POI est le plus proche de l'utilisateur. Cette notion de distance est importante dans le cadre des campagnes comme l'illustre le scénario 3.

Pour améliorer les performances de navigation de l'utilisateur, il est donc utile d'indiquer à quelle distance se trouvent les points d'intérêt. Nous notons cette distance, *Distance 3D*. Nous explorons 3 attributs visuels pour traduire cette distance 3D :

- la transparence du cercle (Fig. 9-c),
- la couleur du cercle,
- l'épaisseur du cercle.

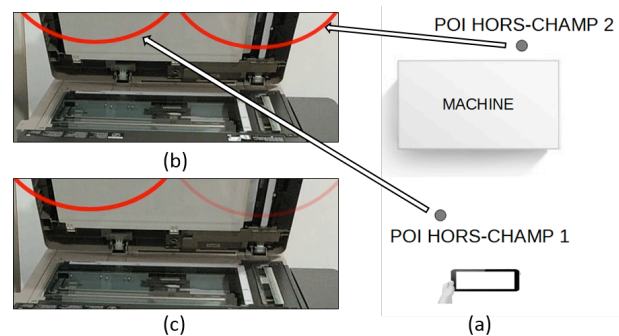


Figure 9 : Halo3D et distance 3D (a) Configuration initiale : vue orthographique par-dessus des 2 POIs hors-champ situés sur une machine et alignés horizontalement. (b) Visualisation des 2 POIs : les deux arcs de cercle sont identiques et ne permettent pas de connaître la différence de profondeur entre les deux POIs. (c) Visualisation des 2 POIs avec la profondeur traduite par la transparence de l'arc de cercle. L'arc de cercle le plus opaque à gauche indique que le POI est plus proche que l'autre.

En utilisant la transparence, l'arc de cercle du POI le plus proche serait par exemple plus opaque que celui du deuxième POI, permettant ainsi de les différencier (Fig. 9-c). Une autre option de conception est d'utiliser la couleur du trait : l'arc de cercle du POI le plus proche serait rouge (couleur utilisée par l'étude de Halo [1]), tandis que le cercle du POI le plus loin aurait la couleur neutre blanche.

D'autres attributs visuels ont été envisagés : modification de la continuité du trait (pointillés, hachures) et de la continuité de la couleur du cercle. Par exemple plus l'utilisateur se rapproche d'un POI et plus le Halo correspondant devient hachuré/multi-couleur. En s'éloignant du POI, l'utilisateur retrouve un trait continu (sans coupure)/une couleur uniforme. Ces solutions augmentent la variabilité visuelle du trait d'un cercle. Or l'environnement industriel est visuellement très chargé (machines, câbles, capteurs, etc.). La superposition à cet environnement déjà très dense en couleurs et formes, de cercles, dont les traits sont visuellement variables, augmente la difficulté pour percevoir. Nous avons donc opté pour les solutions qui préservent l'uniformité visuelle du trait d'un cercle comme les attributs visuels transparence, couleur ou épaisseur.

L'attribut visuel choisi, la deuxième question de conception est de déterminer comment l'appliquer. Il est alors nécessaire de déterminer si l'utilisateur est d'avantage intéressé par ce qui se trouve loin ou par ce qui se trouve proche de lui. Selon la façon d'appliquer le trait visuel, les POIs hors-champ sont alors présentés et mis en évidence par rapport au degré d'intérêt de l'utilisateur. En considérant la transparence par exemple, il s'agit de définir si l'attribut visuel choisi doit être le plus visible (opaque) lorsque l'utilisateur est loin ou lorsqu'il est si proche du POI.

Deux axes de conception orthogonaux sont donc à étudier pour représenter la distance 3D du POI à partir de sa représentation en cercle : (1) attribut visuel et (2) application de l'attribut visuel en fonction de la profondeur. Pour explorer ces deux dimensions de conception, nous avons mis en place

un protocole expérimental et avons collecté des premiers résultats expérimentaux, que nous décrivons dans la section 4.

3.2 Agrégation

Halo3D étant une adaptation de Halo (2D), la technique hérite donc des mêmes faiblesses dans le cas d'une forte densité de POIs hors-champ. La visualisation de nombreux POIs hors-champ entraîne le chevauchement de nombreux cercles, et conduit à une surcharge visuelle de l'interface graphique.

Pour éviter ce problème, une solution consiste à agréger les éléments visuels à partir d'un nombre fixe de chevauchements. La technique HaloDot [8] adopte cette solution pour la visualisation Halo (2D) appliquée à la cartographie. L'algorithme d'agrégation considère tout d'abord une grille superposée à la carte qui divise l'espace en cellules. Il agrège ensuite deux POIs hors-écran s'ils se trouvent au sein de la même cellule, réduisant ainsi les chevauchements. Enfin, l'algorithme affiche à côté du nouveau cercle le nombre de POIs qui ont été agrégés.

Bien que le problème semble résolu, cet algorithme n'est pas adapté à la RA mobile. Considérons le cas de la technique HaloDot appliqué à une visualisation 2D classique. Prenons deux POIs non visibles mais proches du bord de l'écran et proches entre eux, tels que la distance entre un POI et le bord de l'écran soit inférieure à la distance qui les sépare (Fig. 10-a). Les deux objets seront agrégés car ils se trouvent au sein d'une même cellule, et il n'y aura qu'un seul cercle apparent (Fig. 10-b). Pour obtenir deux cercles, l'utilisateur devra zoomer sur l'écran pour les espacer entre eux afin qu'ils se retrouvent dans des cellules différentes. L'agrégation est donc basée sur la distance entre les positions des POIs dans le monde physique.

Considérons maintenant le même exemple appliqué à la RA mobile. La première différence entre les deux cas est le point de vue de la caméra. Nous avions auparavant une vue orthographique par-dessus tandis qu'en RA, le point de vue est égo-centrique. Lorsque l'utilisateur effectue une rotation vers le haut ou vers le bas, la distance entre la projection des POIs sur le plan de l'écran ne change pas. Seule la distance entre la projection des POIs et le bord de l'écran est modifiée. Ainsi, les POIs seraient toujours dans la même cellule. L'agrégation serait donc constante tant que l'utilisateur ne se déplace pas physiquement vers les POIs concernés pour espacer la position de leur projection entre elles. L'application du HaloDot entraînerait un comportement inadapté de l'application : en effet les POIs proches du bord de l'écran et proches entre eux seraient agrégés alors que leurs cercles respectifs ne se chevauchent pas à l'écran.

L'objectif de l'agrégation est d'alléger l'interface graphique lorsqu'il y existe de nombreux chevauchements. Il s'agit là d'un enjeu purement visuel. HaloDot ne tient pas compte de cette surcharge visuelle, c'est-à-dire des intersections entre les différents cercles.

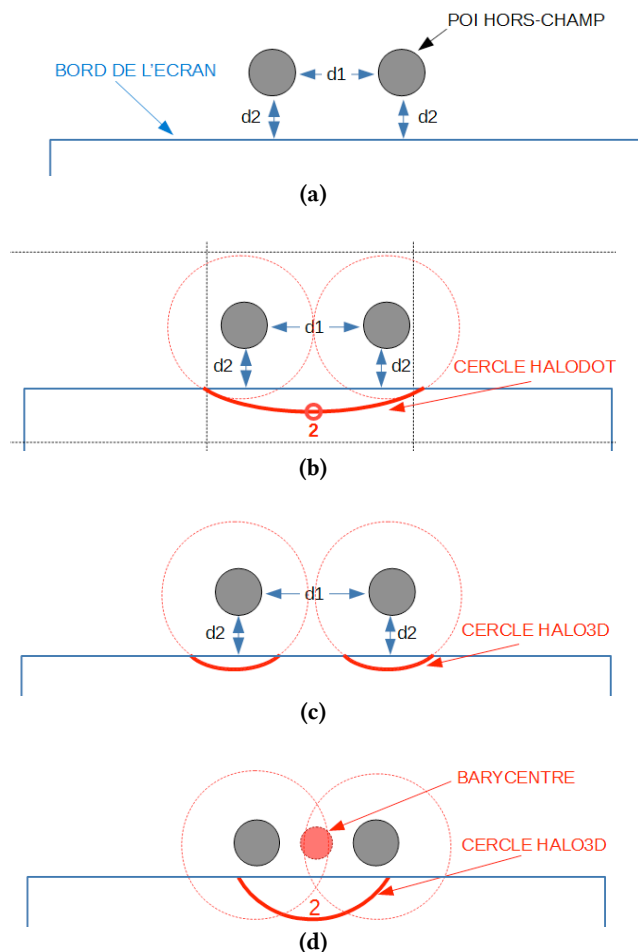


Figure 10 : (a) Configuration initiale de deux POIs proches entre eux et proches du bord de l'écran tels que $d2 < d1$. (b) Résultat avec l'algorithme HaloDot : les POIs sont agrégés. (c) Résultat avec l'algorithme d'agrégation du Halo3D : les POIs ne sont pas agrégés. (d) Agrégation des deux POIs uniquement lorsque leurs cercles respectifs se chevauchent

L'algorithme d'agrégation Halo3D examine l'aspect visuel d'une forte densité de POIs, en ne considérant que l'intersection entre les cercles plutôt que la distance entre les POIs dans le monde physique : soit S l'ensemble de cercles produits par notre technique de visualisation. Pour chaque cercle h , inclure dans un ensemble tous les cercles qui intersectent h . Si l'ensemble contient plus de deux chevauchements, l'algorithme agrège tous les POIs dont la représentation intersecte h , et enlève leurs cercles respectifs de l'ensemble S de cercles à traiter. Enfin, il affiche à côté du cercle le nombre de POIs agrégés. (Fig. 10-d, 11-b et 11-c). L'algorithme d'agrégation est récursif pour ne garantir aucun chevauchement à l'écran. Il itère tant qu'il y existe des chevauchements visibles. L'ordre des POIs importe donc peu. Un test empirique sur 8 POIs condensés et regroupés en plusieurs paquets a montré l'efficacité de l'algorithme en agrégeant progressivement l'ensemble des points d'intérêts en un seul Halo, tout en affichant le nombre de POIs à côté du cercle (Fig. 11).

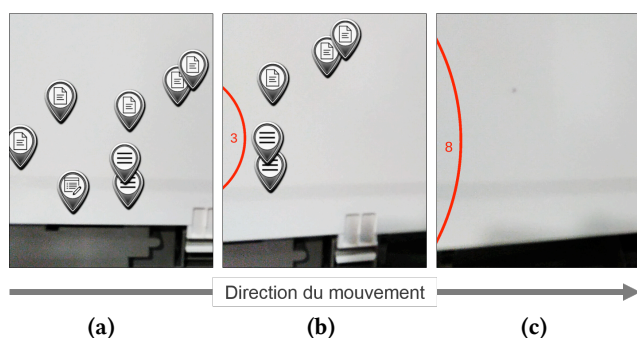


Figure 11 : (a) Halo3D sans agrégation pour 8 POIs placés devant l'utilisateur. (b) Halo3D avec 3 POIs agrégés lors d'un déplacement de l'utilisateur vers la droite. (c) Halo3D avec les 8 POIs agrégés.

Lors d'une agrégation, l'algorithme calcule le barycentre des POIs agrégés et trace le Halo3D correspondant à ce barycentre (Fig. 10-d). La distance 3D calculée correspond donc à la distance physique entre le centre du paquet de POIs agrégés et l'utilisateur. La distance du barycentre seule est cependant insuffisante pour représenter un ensemble de POIs, Il serait pertinent de considérer également les bornes minimum et maximum de l'ensemble : utiliser par exemple la bordure intérieure (resp. extérieure) de l'arc de cercle Halo3D pour représenter par un attribut visuel supplémentaire la distance 3D du POI le plus proche (resp. le plus éloigné). Entre les deux bordures, l'arc de cercle représenterait la distance 3D du barycentre du paquet de POIs agrégés.

4 PROPOSITION D'ETUDE EXPERIMENTALE

4.1 Objectif et hypothèse

L'expérience a comme double objectif de déterminer (1) quel attribut visuel serait le plus adéquat pour représenter la distance 3D du POI : cet attribut visuel est à appliquer à l'arc de cercle qui représente la distance 2D du POI (2) comment doit évoluer cet attribut visuel en fonction de la distance, en déterminant s'il doit devenir de plus en plus visible lorsque l'utilisateur s'éloigne ou lorsqu'il se rapproche d'un POI.

Nous faisons l'hypothèse que l'utilisateur préférera l'attribut visuel qui minimise la charge visuelle sur l'écran couplée à un type de transition qui, comme dans la réalité, améliore la visibilité des POIs lorsque l'utilisateur s'en rapproche.

4.2 Participants/Matériel

12 participants sont envisagés pour participer à cette première expérience. Ils utiliseront la tablette iPad Air 2 pour effectuer les tests.

4.3 Conditions

Nous considérons trois attributs visuels : la transparence, la couleur et l'épaisseur du cercle. Une transition est une animation qui modifie l'apparence de l'attribut visuel choisi en fonction de la distance. Nous avons deux types de transitions :

atténuée et abrupte. Le couple [attribut visuel-type de transition] est noté *technique visuelle*.

La transition atténuée a la propriété de rendre l'attribut visuel de moins en moins visible à mesure que l'utilisateur se rapproche d'un POI. Ainsi, la technique visuelle formée du couple [épaisseur- transition atténuée] rend le cercle du Halo3D de plus en plus fin (respectivement épais) à mesure que la distance entre un POI et l'utilisateur diminue (respectivement augmente). La transition abrupte a la propriété de rendre le cercle du Halo3D d'autant plus apparent que l'utilisateur se rapproche du POI. Par exemple la technique visuelle définie par le couple [transparence-transition abrupte] rendra le cercle du Halo3D de plus en plus opaque (respectivement transparent) à mesure que la distance entre un POI et l'utilisateur diminue (respectivement augmente). Les termes « atténué » et « abrupt » ont été choisis pour traduire la transition entre le cercle Halo3D et l'apparition du POI dans le champ de la caméra. La transition qualifiée d'« atténuée » (respectivement « abrupte ») fait disparaître (respectivement apparaître) progressivement le cercle Halo3D au profit du POI lui-même qui devient visible à l'écran.

En considérant trois conditions pour la variable attribut visuel (transparence, couleur et épaisseur) et deux conditions pour le type de transition, l'étude compare donc six techniques visuelles (Attribut visuel x Transition) : transparence/atténuée, transparence/abrupte, couleur/atténuée, couleur/abrupte, épaisseur/atténuée et épaisseur/abrupte.

4.4 Tâche

Pour comparer les techniques visuelles, nous disposons 3 POIs devant l'utilisateur, tel que l'un d'entre eux soit significativement plus proche de lui que les deux autres. Le but de l'expérience est de demander au participant d'interpréter les informations visuelles du cercle Halo3D et d'indiquer lequel des trois points d'intérêts lui paraît le plus proche.

4.5 Procédure

Un premier test avec deux participants a confirmé que lorsqu'un individu commence l'étude avec un type de transition donné, il a tendance à interpréter tous les cas suivants avec ce même type de transition, même si le type de transition a changé. Il n'est donc pas possible de tester deux types de transition différentes à la suite. Ainsi il n'est pas possible de tester la technique [couleur-transition atténuée] suivie de la technique [épaisseur-transition abrupte]. Notre procédure expérimentale, schématisée à la figure 12, prend en compte cette contrainte.

Le participant commence par une phase d'apprentissage pendant laquelle il apprend à manipuler le concept du Halo 2D en RA mobile. L'objectif est de lui permettre de comprendre la relation entre l'amplitude du mouvement qu'il doit réaliser pour ramener le POI en visuel sur l'écran et la taille du cercle. L'idée est ainsi d'éviter qu'il passe du temps pendant les tests à comprendre le mécanisme du Halo. Ensuite le participant effectue la tâche pour tous les attributs visuels pour un premier type de transition donné. Il y a ensuite une session de débriefing avec le participant pour noter ses commentaires et son classement de préférence des trois techniques testées. Puis

le participant teste à nouveau les trois attributs visuels avec le deuxième type de transition.

Le test de chaque technique visuelle est précédé d'une phase d'apprentissage de cette technique et se conclut par le remplissage d'un questionnaire SUS (System Usability Scale) [2] permettant de donner un score à la technique. Enfin, il y a 6 cas à tester pour chaque technique visuelle, soit 36 cas pour toute la durée de l'expérience. Le temps pour accomplir la tâche et le taux d'erreur sont enregistrés pour chaque cas. Entre chaque cas, le système modifie quel est le POI le plus proche à déterminer.

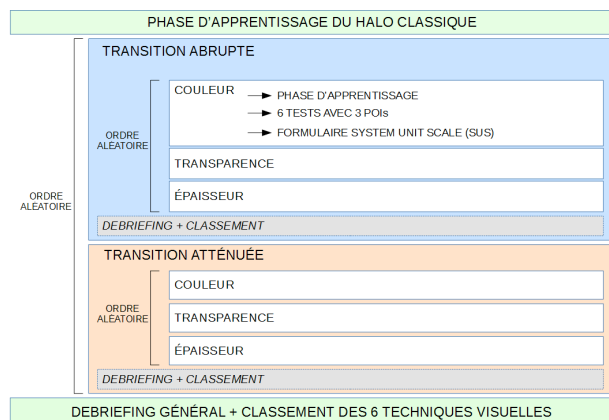


Figure 12 : Protocole expérimental

4.6 Premières observations

Selon ce protocole, nous avons conduit l'étude avec 4 participants. Nous reportons ici les premières observations. Tous les participants ont facilement détecté quel était l'attribut visuel qui représentait la profondeur.

Les premiers retours indiquent une préférence pour la transparence comme attribut visuel pour traduire la profondeur. La couleur a été jugée trop intrusive sur l'écran. Une justification fournie par l'un des participants est que la transparence et l'épaisseur peuvent modifier leur intrusion sur l'écran en fonction de la distance entre l'utilisateur et un POI. Pour les attributs visuels transparence ou épaisseur couplés à une transition atténuée par exemple, le cercle sera presque transparent ou très fin et donc peu intrusif lorsque l'utilisateur est proche d'un POI. Mais en utilisant la couleur, le cercle est toujours très présent sur l'écran et seule la couleur est modifiée. La charge visuelle est donc constante et élevée.

Les avis sur la meilleure transition visuelle sont partagés. Les participants ont justifié leur préférence en effectuant un parallèle avec le monde physique : l'un d'entre eux a préféré la transition abrupte et a pris l'exemple de la conduite d'un véhicule sur autoroute : lorsqu'un conducteur se trouve relativement loin de la gare de péage, il observe de faibles indications visuelles au loin. Plus il se rapproche, et plus ces indications seront intenses jusqu'à occuper un grand espace de son champ visuel. Un autre candidat a préféré la transition atténuée en faisant le parallèle avec les jeux vidéo. Pour indiquer qu'il existe un objet/personne important à aller chercher au loin, le système affiche une indication très visible sur l'interface. Puis, plus le joueur se rapproche de l'objet, et moins l'indication visuelle est intrusive jusqu'à disparaître complètement.

Ces premiers retours vérifient notre hypothèse concernant les attributs visuels : l'utilisateur préfère un attribut visuel qui minimise l'intrusion du cercle sur l'écran. Les avis sur les types de transition sont cependant partagés. Conduire l'étude expérimentale permettra de confirmer ou d'infirmer notre hypothèse selon laquelle l'utilisateur préfère un type de transition qui améliore la visibilité des POIs lorsqu'il s'en rapproche.

5 CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Dans cet article nous avons proposé Halo3D, une nouvelle technique de visualisation des POIs hors-champ pour la réalité augmentée mobile. Adaptée d'une technique de visualisation 2D existante (Halo), Halo3D fournit des indications en 3D sur la localisation des points d'intérêts du contexte et fonctionne sur une vue 3D égocentrique. Nous avons également proposé un nouvel algorithme d'agrégation adapté à la RA pour éviter les chevauchements à l'écran. Enfin, l'étude expérimentale proposée permet d'explorer l'espace de conception. Cette étude déterminera la meilleure manière de traduire visuellement la distance à vol d'oiseau entre les points d'intérêts et l'utilisateur, et ainsi de permettre une meilleure compréhension du contexte non visible.

Les éléments de conception de la technique de visualisation énoncés dans cet article peuvent également être réutilisés dans le cadre de la réalité virtuelle. La distance entre l'utilisateur et des points d'intérêts placés autour de lui et la connaissance spatiale d'un environnement sont des notions souvent requises dans le secteur des jeux vidéo. Le domaine auquel s'applique Halo3D est donc plus large que celui de la réalité augmentée mobile.

Plusieurs perspectives d'amélioration de Halo3D sont identifiées dans l'article. De plus, en RA mobile, un POI peut se trouver devant ou derrière l'utilisateur. Or qu'un POI se trouve devant ou derrière l'utilisateur, sa projection sur le plan de l'écran le ramène en 2D. Ceci entraîne la perte de l'information concernant la distance physique entre l'utilisateur et le POI. La distance 3D, qui pallie ce problème, pourrait alors être complétée par l'ajout d'une information visuelle traduisant les distances négatives des POI derrière l'utilisateur.

Au-delà de l'étude expérimentale en cours pour figer les paramètres de conception de Halo3D, il convient de conduire une deuxième étude comparative avec des professionnels en maintenance industrielle. Pour reproduire l'environnement visuellement très chargé, des posters représentant les quatre façades d'une armoire électrique seront imprimés. L'objectif est de simuler un contexte chargé en couleurs et formes. L'étude comparera Halo3D avec le système de navigation de Schneider Electric basé sur des flèches 2D sans agrégation. Chaque flèche est juxtaposée à une information textuelle indiquant la distance physique entre le POI et l'utilisateur. Cette étude sera menée avec des opérateurs de maintenance dans plusieurs pays (en particulier Japon et France).

Enfin, nous planifions de comparer les performances de Halo3D à celles d'autres techniques de visualisation d'objets hors-champ telles que les flèches 3D, Aroundplot, ou encore à une visualisation de type Globale+Détails (*Overview+Detail*) [4]. Les techniques Vue Globale+Détails utilisent deux vues

distinctes : une vue globale de l'espace d'information et une vue détaillée, les deux vues étant côte à côte ou superposées [11]. Par exemple dans les jeux, les vues 2D *radar* ou *mini-map* sont affichées en complément de la vue détaillée du terrain de jeu. Des études ont déjà évalué ces techniques de visualisation dans le cadre de la réalité augmentée. Elles ont montré l'efficacité des flèches 3D par rapport à une vue radar 2D [13], ou encore les meilleures performances de Aroundplot par rapport aux flèches 3D et à une vue radar 2D [12]. Cependant, les visualisations de type Globale+Détails sont préférées lorsqu'il s'agit de déterminer la relation spatiale entre les POIs hors-champ [3]. Une perspective à nos travaux consiste donc à comparer les performances de navigation et les préférences de l'utilisateur lorsqu'il se déplace en réalité augmentée mobile en utilisant Halo3D, des flèches 3D, AroundPlot ou encore une vue de type Globale+Détails.

RÉFÉRENCES

- [1] Patrick Baudisch and Ruth Rosenholtz. 2003. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '03). ACM, New York, NY, USA, 481-488. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/642611.642695>
- [2] Brooke, J. 1996. SUS: A Quick and Dirty Usability Scale. In Usability Evaluation in Industry. Taylor & Francis, 189-194.
- [3] Stefano Burigat and Luca Chittaro. 2011. Visualizing references to off-screen content on mobile devices: A comparison of Arrows, Wedge, and Overview+Detail. *Interact. Comput.* 23, 2 (March 2011), 156-166. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2011.02.005>
- [4] Stefano Burigat and Luca Chittaro. 2013. On the effectiveness of Overview+Detail visualization on mobile devices. *Personal Ubiquitous Comput.* 17, 2 (February 2013), 371-385. DOI:<http://dx.doi.org/10.1007/s00779-011-0500-3>
- [5] Luca Chittaro and Stefano Burigat. 2004. 3D location-pointing as a navigation aid in Virtual Environments. In Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '04). ACM, New York, NY, USA, 267-274. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/989863.989910>
- [6] Andy Cockburn, Amy Karlson, and Benjamin B. Bederson. 2009. A review of overview+detail, zooming, and focus+context interfaces. *ACM Comput. Surv.* 41, 1, Article 2 (January 2009), 31 pages. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/1456650.1456652>
- [7] Rudolph P. Darken. 1995. Wayfinding in large-scale virtual worlds. In Conference Companion on Human Factors in Computing Systems (CHI '95). I. Katz, R. Mack, and L. Marks (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 45-46. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/223355.223419>
- [8] Tiago Gonçalves, Ana Paula Afonso, Maria Beatriz Carmo, Paulo Pombinho. 2011. HaloDot: Visualization of the Relevance of Off-Screen Objects. In Proceedings of SIACG, 117-120.
- [9] Sean G. Gustafson and Pourang P. Irani. 2007. Comparing visualizations for tracking off-screen moving targets. In CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '07). ACM, New York, NY, USA, 2399-2404. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/1240866.1241014>
- [10] Sean G. Gustafson, Patrick Baudisch, Carl Gutwin, and Pourang P. Irani. 2008. Wedge: clutter-free visualization of off-screen locations. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '08). ACM, New York, NY, USA, 787-796. DOI:<http://dx.doi.org/10.1145/1357054.1357179>
- [11] Kasper Hornbaek, Benjamin B. Bederson, Catherine Plaisant. 2001. Navigation Patterns and Usability of Overview+Detail and Zoomable User Interfaces for Maps, Technical Report No.2001-11 HCIL, University of Maryland.
- [12] Jo Hyungeun, Sungjae Hwang, Hyunwoo Park, Jung-hee Ryu. 2011. Around plot: Focus context interface for off-screen objects in 3D environments. *Computers & Graphics*, Volume 35, Issue 4, 841-85. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cag.2011.04.005>
- [13] Torben Schinke, Niels Henze, and Susanne Boll. 2010. Visualization of off-screen objects in mobile augmented reality. In Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '10). ACM, New York, NY, USA, 313-316. DOI:<http://doi.acm.org/10.1145/1851600.1851655>
- [14] Matthias Trapp, Lars Schneider, Norman Holz, Jürgen Dollner. 2009. Strategies for visualizing points-of-interest of 3D virtual environments on mobile devices. In Proceedings of the sixth international symposium on LBS & TeleCartography.

