



Une plate-forme intergicielle pour la découverte et l'invocation de services géolocalisés dans les réseaux ad hoc discontinus

Salma Ben Sassi, Nicolas Le Sommer

► To cite this version:

Salma Ben Sassi, Nicolas Le Sommer. Une plate-forme intergicielle pour la découverte et l'invocation de services géolocalisés dans les réseaux ad hoc discontinus. 9e conférence internationale sur les nouvelles technologies de la répartition (NOTERE'09), Jun 2009, Montréal, Canada. Université du Québec à Montréal, pp.28-37, 2009. <hal-00498358>

HAL Id: hal-00498358

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00498358>

Submitted on 7 Jul 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une plate-forme intergicielle pour la découverte et l’invocation de services géolocalisés dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus

Salma Ben Sassi
Laboratoire Valoria
Université Européenne de Bretagne, France
Salma.Ben-Sassi@univ-ubs.fr

Nicolas Le Sommer
Laboratoire VALORIA
Université Européenne de Bretagne, France
Nicolas.Le-Sommer@univ-ubs.fr

Résumé

Les réseaux mobiles ad hoc présentent, dans la plupart des cas d’utilisation, une topologie qui évolue de manière imprévisible et qui est souvent fragmentée en plusieurs îlots de communication distincts. Dans ces réseaux mobiles ad hoc qualifiés de discontinus, la découverte et l’invocation de services ne peuvent être assurées grâce à des protocoles de communication synchrones reposant une connectivité de bout-en-bout, mais a contrario via des protocoles de communication asynchrones tolérant les ruptures de connexion tels que les protocoles de communication opportuniste reposant sur le principe du *store, carry and forward*.

Dans cet article, nous présentons une plate-forme intergicielle supportant la découverte et l’invocation de services géolocalisés dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus, en nous focalisant plus particulièrement sur les capacités de localisation qu’elle offre, sur les fonctionnalités de découverte, de sélection et d’invocation des services qu’elle procure, et sur le protocole de communication opportuniste qu’elle met en œuvre. Nous présentons en outre dans cet article des résultats de simulation qui montrent l’intérêt de la géolocalisation pour la prestation de services dans ce type de réseaux.

Mots-clés

Découverte et invocation de services, communications opportunistes, réseaux mobiles ad hoc discontinus

1. INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années, la quantité et la diversité des terminaux mobiles équipés d’interfaces de communication sans fils capables de fonctionner en mode ad hoc ont considérablement augmenté. Les smartphones, les assistants numériques personnels, les ordinateurs portables dotés d’interfaces de communication de type Wi-Fi ou *Bluetooth*, et utilisés quotidiennement par des millions d’individus, en sont des exemples. Grâce à ces interfaces de communication, ces terminaux sont en mesure de former spontanément un réseau mobile ad hoc (MANET) pour permettre d’échanger des données ou d’offrir des services sans recourir à une infrastructure réseau pré-existante. La perspective de pouvoir utiliser ces réseaux mobiles pour offrir de nouveaux types de services aux usagers nomades est attrayante, et en particulier pour les entreprises ou les collectivités locales qui ne peuvent pas (ou ne souhaitent pas) fournir leurs services par l’intermédiaire d’un opérateur de téléphonie mobile. Cependant, ces réseaux mobiles ad hoc s’avèrent être en pratique intrinsèquement dynamiques et discontinus du fait de la mobilité et de la volatilité des terminaux, de la limitation de la portée radio des interfaces de communication sans fils, et de la distribution souvent éparse et irrégulière de ces terminaux dans

l’environnement. Les changements imprévisibles et fréquents qui interviennent dans la topologie de ces réseaux imposent de fait de nouvelles contraintes vis-à-vis de la conception et de la mise en œuvre des services offerts dans ce type de réseaux, ainsi que sur les plates-formes intergicielles supportant ces services. Ces dernières doivent ainsi posséder des capacités que les plates-formes intergicielles traditionnelles n’ont pas, comme par exemple une sensibilité au contexte et en particulier à la géolocalisation, une capacité à collaborer mutuellement pour acheminer les messages de manière opportuniste dans le réseau, ainsi qu’une certaine forme d’autonomie et de capacité d’adaptation pour sélectionner et invoquer les meilleurs fournisseurs de services aux moments les plus propices.

Par exemple dans de tels réseaux, le modèle de communication synchrone utilisé traditionnellement pour délivrer des services s’avère peu approprié. Ce modèle suppose en effet que deux terminaux ne peuvent communiquer que s’ils sont simultanément présents dans le réseau et qu’il existe une route de bout-en-bout qui les lie, route qui doit pouvoir être déterminée à tout moment soit de manière proactive ou réactive grâce à des protocoles de routage dynamique tels que OLSR ou AODV. A contrario, dans les protocoles de communication opportuniste – qui exploitent les communications ad hoc et la mobilité des terminaux pour échanger les données – les terminaux mobiles ne sont pas supposés acquérir une connaissance de la topologie du réseau et maintenir des routes de bout-en-bout pour permettre l’acheminement des messages dans celui-ci. Les messages sont en effet traités de manière asynchrone et peuvent être stockés temporairement sur certaines machines lors de leur acheminement ou de leur dissémination dans le réseau en vue d’être rémis ultérieurement, permettant ainsi à un message d’atteindre sa destination même si celle-ci n’était pas présente dans le réseau au moment de l’émission. Chaque terminal est donc susceptible de jouer le rôle de relais, et peut être amené à choisir à quels terminaux voisins il doit transférer le(s) message(s) qu’il reçoit. Dans cette optique, les protocoles de communication opportuniste peuvent mettre en œuvre des heuristiques afin d’estimer quel sera le meilleur terminal (ou les meilleurs terminaux) capable(s) de délivrer un (ou des) message(s) donné(s), et des heuristiques pour contrôler la propagation des messages dans le réseau tant spatialement que temporellement. Ces heuristiques visent à réduire la charge globale du réseau et à éviter une dissémination épidémique des messages dans le réseau. Nous montrons par exemple dans cet article que des heuristiques fondées sur des critères de localisation sont pertinentes pour la découverte et l’invocation de services applicatifs via des communications opportunistes. En effet, la plupart des services offerts à des usagers nomades n’ont de sens que dans des zones géographiques données, et devraient de fait

être découverts et invoqués uniquement dans ces zones et non pas depuis le réseau tout entier ; ces zones pouvant être définies par les services eux-mêmes. Les plates-formes intergicielles supportant ces services devraient donc être en mesure d'exploiter ces informations de localisation afin de relayer les messages uniquement dans les zones géographiques concernées, et de sélectionner de manière autonome les meilleurs fournisseurs de services en fonction des informations de localisation.

Dans cet article, nous présentons l'architecture et le principe de fonctionnement de la plate-forme intergicielle avec laquelle nous étudions les problèmes inhérents à la fourniture de services dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus en privilégiant une approche fondée sur la *cross-layering*. Cette approche vise à permettre aux deux principales couches logicielles composant notre plate-forme, que sont la couche de gestion des services et la couche de communication opportuniste, d'agir mutuellement l'une sur l'autre et de partager des informations communes telles que les contraintes et les propriétés de localisation exprimées par les services. Plusieurs représentations de la notion de localisation sont supportées par notre plate-forme, ainsi que plusieurs méthodes de détermination de la localisation. Ces représentations et ces méthodes sont exploitées par la couche de gestion des services afin de sélectionner les fournisseurs de services en fonction de leur localisation, ainsi que par la couche de communication afin de déterminer dans quelles zones les messages peuvent être acheminés.

La suite de cet article s'articule de la manière suivante. Le paragraphe 2 présente un scénario permettant de mettre en lumière les difficultés à résoudre et d'étayer les solutions que nous proposons. L'architecture générale de la plate-forme est décrite dans le paragraphe 3. Le paragraphe 4 présente la couche de gestion des services en se focalisant en particulier sur la définition et l'exploitation des informations de localisation dans le processus de découverte, de sélection et d'invocation des services. Le paragraphe 5 présente les résultats que nous avons obtenus en exécutant notre plate-forme de services sur un simulateur de réseaux mobiles ad hoc. Les travaux récents visant à fournir des services dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus sont présentés et discutés dans la section 6. Enfin le paragraphe 7 conclut cet article en résumant nos contributions et en donnant des perspectives de travaux futurs.

2. SCÉNARIO ET MOTIVATIONS

Dans ce paragraphe, nous présentons un scénario nous permettant de motiver nos travaux, et de mettre en évidence les verrous techniques et scientifiques à lever. Dans ce scénario, nous considérons un campus au sein duquel sont déployées des infostations qui offrent des services aux étudiants. Nous supposons en outre que les étudiants sont dotés de terminaux mobiles tels que des smartphones, des assistants numériques personnels ou des ordinateurs portables. Nous considérons enfin que ces équipements communiquent tous en mode ad hoc grâce à des interfaces de communication sans fils de type IEEE 802.11 (i.e., Wi-Fi). Un tel environnement est illustré dans la figure 1. Dans la suite de ce paragraphe, nous nous concentrerons sur des services particuliers, à savoir des services d'impression. Ces services, de par leur nature, devraient pouvoir être découverts au sein du campus, et ne pouvoir être invoqués uniquement au sein des bâtiments dans lesquels les infostations sont déployées. Nous discutons dans la suite de ce paragraphe des avantages apportés par les informations de localisation tant du point de vue de la communication que de la prestation des services.

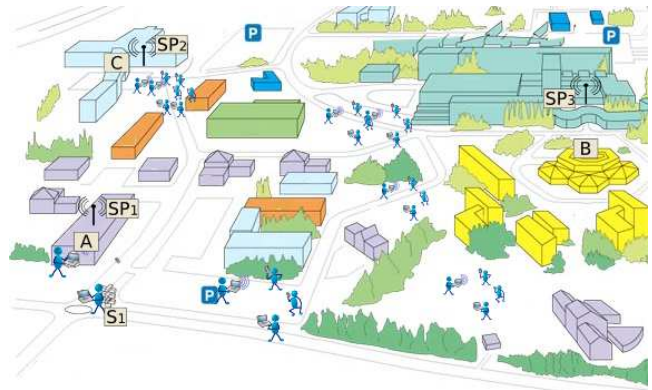


Figure 1: Exemple de réseau mobile ad hoc discontinus

2.1 Communication opportuniste géolocalisée versus communication opportuniste non géolocalisée

Les protocoles de communication opportuniste permettent d'acheminer des messages dans un réseau mobile ad hoc discontinu en exploitant la mobilité des terminaux et leur capacité à pouvoir stocker temporairement un message afin de le réémettre ultérieurement. Ces protocoles se fondent sur le principe du *store, carry and forward*. Afin de contrôler la propagation des messages dans le réseau, ces protocoles assignent traditionnellement à chaque message une durée de vie et un nombre maximal de sauts. Cependant ces informations peuvent s'avérer insuffisantes. Par exemple dans le scénario que nous considérons, les fournisseurs de services d'impression SP_1 , SP_2 et SP_3 peuvent affecter à leurs messages d'annonce de services une durée de vie élevée et un nombre de sauts important afin que leurs messages puissent être disséminés dans l'ensemble du campus. Ce faisant, leurs messages seront, selon toutes vraisemblances, diffusés également en dehors du campus. Par exemple, bien que l'étudiant S_1 ne soit plus présent au sein du campus, le terminal de celui-ci continuera à transmettre aux terminaux qu'il rencontre le message d'annonce qu'il a obtenu auprès du fournisseur SP_1 tant que ce message est valide ; ces terminaux reproduisant ce même schéma à leur tour.

A contrario, si la plate-forme intergicielle installée sur le terminal mobile de l'étudiant S_1 était consciente de sa position et était en mesure de traiter les informations de localisation exhibées par les services, elle ne relaierait pas ces messages d'annonce hors de la zone de découverte définie par le fournisseur. Les messages seraient ainsi circonscrits géographiquement. En outre, des plates-formes intergicielles dotées de telles capacités pourraient acheminer plus efficacement les messages vers leur(s) destination(s) finale(s) en sélectionnant les nœuds mobiles voisins les plus à même de délivrer directement ou indirectement les messages sur la base d'informations telles que leur position, leur direction de déplacement (ou de leur destination) et de leur vitesse de déplacement. En outre, ce contrôle géographique de la propagation des messages participe à la réduction de la charge globale du réseau, et doit favoriser le passage à l'échelle.

2.2 Prestation géolocalisée des services versus prestation non géolocalisée des services

La prise en compte des informations de localisation dans les processus d'annonce, de sélection et d'invocation des services est également essentielle. En effet, il est nécessaire que la plate-forme puisse offrir aux services qu'elle héberge le moyen d'être con-

scients de leur localisation et de pouvoir préciser les zones géographiques dans lesquelles ils souhaitent pouvoir être découverts et invoqués. Ces zones peuvent être identiques ou bien différentes à l'instar des exemples de services d'impression que nous considérons. Ces informations de localisation seront alors incluses dans les descripteurs des services diffusés par les fournisseurs de services dans le réseau. Par exemple, les fournisseurs SP_1 , SP_2 et SP_3 pourront préciser que leur zone de découverte est assimilée au campus, mais que leurs zones d'invocation respectives sont les bâtiments dans lesquels ils sont déployés. Ce faisant, cette information pourra être exploitée à la fois au niveau de la couche de gestion des services et de la couche de communication opportuniste. Dans le cadre d'un processus de découverte réactive des services, une plate-forme intergicelle dotée de capacité de localisation serait en mesure de traiter les informations de localisation définies dans les descripteurs de services qu'elle reçoit de manière non sollicitée depuis le réseau, et de sélectionner, sur la base de ces informations et de sa position actuelle, le fournisseur de service le plus proche, et selon toutes vraisemblances celui le plus à même de lui rendre le service. En effet, sans de telles capacités, une plate-forme intergicelle ne serait pas en mesure de différencier les fournisseurs de services d'un point de vue géographique et pourrait dès lors faire de mauvais choix lors de la sélection des fournisseurs de services, impactant ainsi sur le processus d'invocation. Par exemple, après avoir reçu une annonce de la part de SP_1 et SP_3 , l'étudiant S_1 (ou plus précisément la plate-forme intergicelle déployée sur son terminal) peut décider de sélectionner et d'invoquer le service offert par SP_1 , alors qu'il est à proximité de SP_3 .

De la même manière, la plate-forme intergicelle devrait permettre aux services qu'elle héberge de pouvoir préciser leur position et la zone géographique dans laquelle ils souhaitent rechercher un service (ou plusieurs services) dans le cadre d'une découverte proactive. En indiquant ainsi dans leurs requêtes de découverte de services ces informations, ces services clients ne recevraient en retour que des annonces émanant de fournisseurs situés dans la zone géographique souhaitée (i.e., des fournisseurs situés à proximité).

Enfin, en distinguant la zone d'invocation de celle de découverte, on peut permettre de découvrir et de sélectionner de manière anticipée les fournisseurs de services, et déclencher l'invocation (ou l'envoi de message) uniquement dans la zone concernée. Ainsi, le délai inhérent à l'invocation opportuniste des services peut être réduit, et le trafic résultant restreint à une zone géographique bien définie.

3. ARCHITECTURE GÉNÉRALE

Dans ce paragraphe, nous présentons l'architecture générale de la plate-forme de services que nous avons conçue pour permettre la découverte et l'invocation de services géolocalisés dans les réseaux mobiles ad hoc discontinus. Cette plate-forme est composée d'une couche logicielle de gestion des services, d'une couche logicielle dédiée aux communications opportunistes et d'un cadre de conception de géolocalisation. Cette architecture générale est présentée dans la figure 2.

Les différentes représentations du concept de localisation et les différentes méthodes de localisation offertes par le cadre de conception sont exploitées à la fois par les services déployés sur la plate-forme et par les couches logicielles qui composent cette dernière. Dans la suite de ce paragraphe, nous présentons les éléments structurants de chacune de ces couches logicielles, ainsi que le principe de fonctionnement de chacune d'elles. Nous décrivons en outre les choix conceptuels que nous avons réalisés pour permettre à ces couches logicielles de partager des informations communes, et d'agir sur leur comportement réciproque en changeant ces infor-

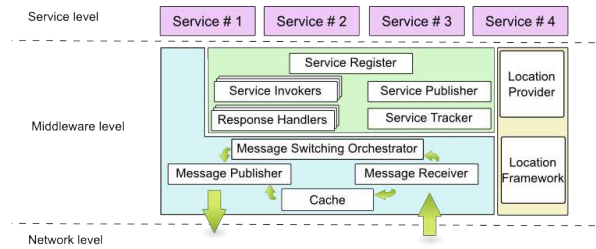


Figure 2: Architecture générale de la plate-forme

mations.

3.1 Modélisation de la notion de localisation et estimation de la localisation

Dans de nombreux travaux, la notion de localisation est souvent réduite à de simples coordonnées GPS, coordonnées qui sont exprimées par une longitude et une latitude définies en degrés décimaux dans le système géodésique WGS84 (*World Geodetic System* 1984), ainsi que par une élévation au dessus de l'ellipsoïde de référence de WGS84 qui est exprimée en mètres. Dans certains environnements, il n'est pas toujours possible d'obtenir de telles coordonnées, et celles-ci ne sont pas suffisamment explicites dans de nombreux cas. Ainsi à l'intérieur des bâtiments, où le signal GPS ne peut être reçu, des fournisseurs de services souhaitant préciser leur position ne devraient pas le faire en utilisant des coordonnées GPS, mais plutôt en indiquant un nom symbolique. Le terme de localisation désigne donc de notre point de vue un concept plus général qui représente un lieu qui peut être identifié *i*) par un nom symbolique, *ii*) par une position exprimée dans un système de coordonnées donné, ou *iii*) par une zone géographique définie par une série de coordonnées exprimées elles aussi dans un système de coordonnées donné, ou définie à la fois par une forme géométrique et une position.

3.1.0.1 Modélisation de la notion de localisation.

Le cadre de conception dédié à la localisation que nous avons mis en œuvre dans notre plate-forme offre différentes représentations de la notion de localisation. Il est ainsi possible de définir *i*) des points de passage identifiés par des coordonnées géographiques, *ii*) des positions identifiées par un nom symbolique (composé par différents champs textuels formant une adresse: rue, code postal, ville, etc.) et des coordonnées géographiques, *iii*) des points d'intérêts permettant de classifier les positions identifiées par un nom symbolique (e.g., hôtel, administration), *iiii*) et des zones géographiques qui peuvent être identifiées par un nom symbolique ou par une série de coordonnées ou une position et une forme géométrique. En outre, ces zones géographiques peuvent être composées afin de définir de nouvelles zones géographiques à partir de zones plus élémentaires. Ainsi, il est possible de définir un bâtiment uniquement à partir de son nom et adresse, de sa position géographique, ou de manière plus complexe par un assemblage de zones plus élémentaires (salles, étages). Les zones géographiques définies par une position et une forme géométrique permettent quant à elles à un fournisseur de préciser qu'il souhaite être découvert dans une zone dont le centre serait sa propre position et dont il préciserait la portée. Nous qualifierons une zone géographique ainsi définie d'une zone de proximité. Un client pourrait utiliser le même principe pour découvrir les fournisseurs de services présents dans son voisinage.

3.1.0.2 Estimation de la localisation.

Plusieurs méthodes permettant de déterminer la localisation d'un terminal mobile ou d'une infostation fixe ont été implantées dans notre cadre de conception. Différentes méthodes permettant de traiter ces informations de localisation ont été également mises en œuvre. Ainsi, certaines de ces méthodes permettent d'estimer la distance entre deux localisations en empruntant ou non des localisations intermédiaires, de déterminer si une localisation est incluse dans une autre et de connaître quelle est la méthode utilisée pour déterminer la localisation.

Une localisation peut être déterminée grâce à des méthodes et des technologies différentes. Ces méthodes et technologies ont été classifiées dans [7] suivant plusieurs propriétés, à savoir le type de support utilisé pour acquérir l'information de localisation (e.g., acoustique, vidéo, électromagnétique), la méthode utilisée pour estimer la localisation, le type d'information, le coût et le point de calcul. Dans [7], trois méthodes d'estimation de la localisation sont identifiées: la proximité, la triangulation et l'analyse de scènes ou la reconnaissance de motifs. Ces méthodes donnent lieu à des calculs qui peuvent être réalisés du côté client ou à distance du côté serveur. L'information de localisation retournée par ces méthodes peut être soit une position physique soit une information symbolique, toutes deux pouvant être définies de manière absolue ou de manière relative par rapport à une autre information de localisation.

Notre cadre de conception a été conçu avec une classification comparable à l'esprit. Ainsi, pour une information de localisation donnée, il est possible de connaître la méthode utilisée pour l'obtenir, la technologie sous-jacente et si l'estimation de la localisation a été faite localement ou sur une machine distante. Quatre types de méthodes d'estimation de la localisation ont été identifiées dans notre cadre de conception: la méthode directe, l'identification de motifs sur la base d'informations symboliques, la méthode de proximité, et la méthode de triangulation. Dans la mise en œuvre actuelle de ce cadre de conception cette dernière méthode n'est pas encore implantée. La méthode d'estimation directe est une méthode simple reposant sur les informations de positionnement retournées par un récepteur GPS. La méthode d'estimation fondée sur la proximité est utilisée pour les technologies sans-fils, et met en œuvre un modèle linéaire d'atténuation du signal.

Par ailleurs, ce cadre de conception propose des méthodes permettant d'effectuer des projections cartographiques. Grâce à ce cadre de conception, il est possible de modéliser un environnement et de sauvegarder ces informations dans des bases de données, celles-ci pouvant, par exemple, ensuite être déployées sur des équipements mobiles afin d'associer des informations symboliques définies par des adresses avec des coordonnées GPS, ou d'indiquer la position de l'utilisateur (ou des fournisseurs de services) sur une carte.

3.2 La couche de gestion des services

La couche de gestion des services implantée dans notre plateforme intergicielle est composée principalement d'un registre de services, d'une entité chargée de traiter les annonces de services émanant du réseau, d'une autre entité permettant de publier les services locaux dans le réseau, et de plusieurs éléments permettant d'invoquer les services distants et de traiter de manière asynchrone les réponses reçues en retour (voir figure 2).

Lors de leur démarrage, les services locaux doivent s'enregistrer auprès du registre de services local et de s'en désinscrire lorsqu'ils sont arrêtés. Le registre de services de chaque terminal maintient à jour à la fois la liste des services locaux et la liste des services distants découverts et qui sont considérés comme valides. Afin de pouvoir invoquer un service distant et ou un autre service local, un service doit invoquer le registre de services local afin d'obtenir une

référence sur le service recherché. Le registre de services sélectionne alors les services en fonction de leurs propriétés fonctionnelles (i.e., de leur interface), de leurs propriétés non-fonctionnelles, et de leur localisation. S'il ne dispose pas d'informations concernant ce service, le registre de services émet alors une requête de découverte de services dans le réseau. Lorsqu'une référence sur un service est obtenue, le service considéré peut être appelé via les éléments permettant d'invoquer les services distants et de traiter de manière asynchrone les réponses reçues. Nous présentons plus en détails dans le paragraphe 4 le principe de fonctionnement de la découverte, de la sélection et de l'invocation des services, et en particulier du point de vu de la spécification et de l'exploitation des informations de localisation.

3.3 La couche de communication

La couche de communication permettant aux terminaux mobiles et aux infostations de s'échanger des messages de manière opportuniste est composée principalement de quatre éléments, à savoir un récepteur de messages, un cache de message, un élément responsable de la publication des messages dans le réseau, et une entité orchestrant l'émission des messages. Cette entité peut être configurée à l'aide de différentes politiques d'émission et de traitement des messages. Une politique d'émission et de traitement des messages reposant sur un modèle dissémination simple, et une politique mettant en œuvre un modèle de dissémination avec contrôle géographique ont par exemple été mises en œuvre. Ces deux politiques sont discutées plus en détails dans le paragraphe 5.

Lors de la réception d'un nouveau message depuis le réseau, le récepteur de messages l'enregistre dans le cache de messages et notifie l'orchestrateur de son arrivée. Le récepteur peut être configuré afin de ne stocker dans le cache que certains messages, permettant ainsi d'avoir un comportement sélectif du point de vu des messages stockés et relayés. Les messages possèdent tous une durée de vie. Lorsqu'ils ont expiré, ils sont retirés du cache de messages. La taille et la politique de gestion du cache peuvent être paramétrées. Les politiques de types LRU, MRU ou FIFO ont été mises en œuvre.

La politique d'émission permet également de préciser si l'équipement doit se comporter en tant que relais de message ou non. S'il se comporte en tant que nœud relais, les messages qu'il reçoit sont stockés dans le cache puis réémis immédiatement dans le réseau. En outre, périodiquement, l'orchestrateur dresse une liste des messages à émettre dans le réseau. Cette liste est transmise à l'entité chargée de la publication des messages en vu de leur dissémination dans le réseau. La période d'émission peut être paramétrée.

Par ailleurs, cette couche de communication offre une interface de type *publish/subscribe*. Ainsi, il est possible de concevoir des programmes d'application capable de publier dans le réseau de l'information et d'y souscrire sans recourir à un modèle de programmation orienté service. En outre, ce modèle *publish/subscribe* facilite la conception de la couche de gestion des services. En effet, les principaux éléments constituant cette couche peuvent être conçus comme des souscripteurs ou des producteurs de messages de services. Par exemple, l'entité chargée de traiter les annonces reçues depuis le réseau est conçue pour être un souscripteur d'annonces de services. De la même manière, l'élément responsable de la publication des services locaux est conçu comme un producteur de messages de type annonce de services.

3.4 Quelques éléments de mise en œuvre

Notre plateforme est conçue comme une extension d'une plateforme OSGi. La couche de communication opportuniste et la couche de gestion des services sont conçues comme des services OSGi.

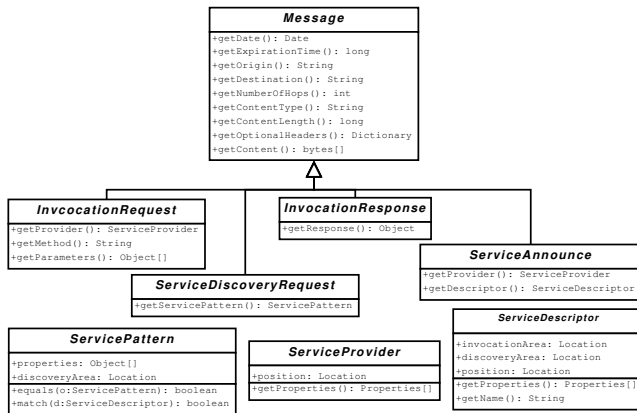


Figure 3: Modélisation UML des messages de services

Ces services de niveau intergiciel sont utilisés par les services applicatifs afin de pouvoir découvrir, sélectionner et invoquer les services distants. En plus de ces deux services, un service, baptisé *LocationProvider*, a été conçu pour obtenir la localisation de la machine locale. Le cadre de conception dédié à la localisation est quant à lui fourni sous la forme d'un bundle OSGi simple.

Tous les messages manipulés par la couche de gestion des services et par la couche de communication, et échangés de manière opportuniste par les terminaux mobiles, sont structurés en deux parties: une partie contenant des "entêtes" et une "partie contenu" (voir figure 3). Ces messages possèdent des entêtes obligatoires, tels que l'adresse de l'émetteur du message, l'adresse du destinataire, un nombre de sauts, une date d'émission ainsi qu'une durée de vie. Des informations complémentaires peuvent également être spécifiées par les services applicatifs sous la forme de champs optionnels afin d'aider à la sélection des services, à leur découverte, à leur invocation, et à l'acheminement des messages dans le réseau. Le contenu des messages dépend du type des messages. Par exemple, le contenu d'un message de découverte de service inclura un motif décrivant les caractéristiques du service recherché, alors que pour une annonce de service, le message inclura un descripteur de service (voir figure 3). Ce descripteur mentionnera également des propriétés de localisation telles que la position du fournisseur de service, les zones de découverte et d'invocation du service. En outre en fonction du type de message, la couche de gestion des services utilisera ces informations de localisation afin de définir la valeur de l'entête *restriction-area*. Cet entête spécifique est exploité par la couche de communication pour déterminer s'il est possible ou non de diffuser le message dans le réseau. La dissémination des messages est circonscrite géographiquement grâce à la valeur de cet entête. Par exemple, pour une annonce de service, la valeur de cet entête sera assimilée à la zone de découverte du service. Pour un réponse ou une invocation, la valeur de cet entête sera égale à la zone d'invocation du service considéré.

En modifiant les valeurs contenues dans les entêtes des messages, dans les descripteurs de services ou dans les motifs de recherche de services, les couches de gestion des services et de communication peuvent s'influencer mutuellement. Par exemple lorsque la couche de gestion des services associe à une requête d'invocation une durée de vie trop importante, la couche de communication peut décider au vu des informations dont elle dispose (délai d'obtention d'une annonce pour le service considéré en réponse à une requête de découverte, nombre de nœuds intermédiaires entre le client et le fournisseur de services) de modifier cette valeur afin que le mes-

sage ne persiste pas inutilement dans le réseau. Ce faisant, cette information pourra être réutilisée ultérieurement par la couche de gestion des services pour les prochaines requêtes ou pour affiner ses critères de sélection des services par exemple. Réciproquement, la couche de gestion des services influence la manière dont la couche de communication traite les messages en définissant ou en modifiant les valeurs des entêtes de ces messages.

Dans la mise en œuvre actuelle, les messages sont sérialisés sous la forme de documents XML, documents qui sont compressés avant d'être émis dans le réseau afin de réduire la charge du réseau. La figure 4 montre une annonce de service sérialisée sous la forme d'un document XML.

```

<message id="fb0097820f0b371" type="service-advertisement">
  <headers>
    <header name="origin" value="00:0F:1F:C5:2F:F5"/>
    <header name="destination" value="*/>
    <header name="number-of-hops" value="5"/>
    <header name="date" value="Nov 29 16:09:47 CET 2008"/>
    <header name="lifetime" value="12:00:00"/>
    <header name="restriction-area"
      value="proximity, N 47.64588 W 2.74516,300m"/>
    ...
  </headers>
  <content>
    ...
  </content>
</message>
  
```

Figure 4: Exemple d'une annonce de service sérialisée sous la forme d'un document XML.

4. GESTION DES SERVICES

Dans ce paragraphe, nous montrons comment les services applicatifs peuvent formuler au sein de notre plate-forme des requêtes de découverte et d'invocation de services, et comment ils peuvent traiter les réponses qu'ils reçoivent en retour.

4.1 Exploitation des informations de localisation dans la gestion des services

Ainsi que nous l'avons mentionné dans le paragraphe 3, chaque terminal mobile doit maintenir sa propre perception des services disponibles localement et dans le réseau grâce au registre de services. Ainsi, au moment de son démarrage, un service local doit s'enregistrer auprès de ce registre en précisant éventuellement sa localisation et ses modalités de découverte et d'invocation géographiques. La figure 5 montre comment un service d'impression, comparable à ceux considérés dans le scénario présenté dans le paragraphe 2, peut décrire ses propriétés de localisation et ses contraintes dans son propre descripteur avant l'enregistrement. Ce descripteur sera ensuite utilisé par la couche de gestion des services afin de construire une annonce de service, annonce qui pourra ensuite être diffusée dans le réseau si la plate-forme locale autorise le mode de découverte réactif. En effet, deux modes de découverte existent: la découverte proactive et la découverte réactive. La découverte réactive consiste à recevoir et à traiter les annonces non-sollicitées émises périodiquement ou sporadiquement par les fournisseurs de services dans le réseau. La découverte proactive consiste quant à elle à émettre dans le réseau des requêtes de découverte de services et à traiter les annonces de services émises en

```

//Environment modelling: cShape is the campus's shape
// bShape is the building's shape
// coordinates of the campus and of the building
GeographicCoordinates cCoord, bCoord;
cCoord = new GeographicCoordinates(47.64588,2.74516);
bCoord = new GeographicCoordinates(47.64504,2.74852);
CompositeLocationArea campus; Building buildingA;
Floor floor0;
campus = new CompositeLocationArea ("UEB Campus",
    cShape, cCoord);
buildingA= new Building("BatA,UEB Campus",bShape,
    bCoord);
campus.add(buildingA);
floor0 = new Floor("Floor0", buildingA);

//Service descriptor
Location invocationArea= buildingA;
Location discoveryArea= campus;
Location position = floor0;
ServiceDescriptor desc=new ServiceDescriptor("
    printing service","fr.ubs.casa.PrintService",
    position, invocationArea, discoveryArea);

//Service registration
ServiceRegister.register(desc,this);

```

Figure 5: Exemple de création d'un descripteur de service géolocalisé

```

// Location of the client
Location hLoc= LocationProvider.getCurrentLocation();

// Definition of the discovery area
Location discoveryArea=new ProximityArea(hLoc.
    getCoordinates(), 200);

ServicePattern sp = new ServicePattern("fr.ubs.casa.
    PrintService", discoveryArea);

// Service lookup
ServiceProvider refSrv=ServiceRegister.lookup(sp);

```

Figure 6: Exemple de requête de découverte de service géolocalisée.

retour par les hôtes capables de fournir le(s) service(s) demandé(s). Dans notre plate-forme, ces deux modes de découverte sont mis en œuvre. Il est donc possible d'effectuer une découverte réactive, une découverte proactive ou les deux à la fois.

Le premier bloc d'instructions défini dans la figure 5 montre comment une information de localisation peut être définie. Dans le cas présent, le bâtiment ayant comme nom symbolique "BatA, UEB Campus" est défini comme étant une zone géographique composée d'une zone plus élémentaire (l'étage 0). Le second bloc d'instruction définit le descripteur de service incluant le nom de l'interface définissant les propriétés fonctionnelles du service, les propriétés non-fonctionnelles du service ainsi que les propriétés de localisation de celui-ci. Le dernier bloc d'instructions montre l'enregistrement du service auprès du registre de services local. Le service d'impression considéré a donc comme zone de découverte le campus tout entier, et comme zone d'invocation uniquement l'étage 0 du bâtiment A.

Pour découvrir quels sont les services d'impression accessibles dans un rayon de 200 mètres, un service client peut créer un motif de sélection de services comparable à celui décrit dans la figure 6. La zone de découverte est définie à l'aide d'un objet de type *Prox-*

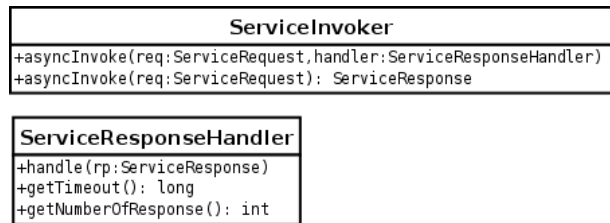


Figure 7: Éléments permettant l'invocation asynchrone des services distants.

imityArea. Le motif de sélection de services ainsi défini sera inclus par le registre de services dans une requête de découverte de services s'il ne possède aucune information concernant un fournisseur de services satisfaisant les critères exprimés par ce motif de sélection. Cette requête sera ensuite émise dans le réseau. Le processus de sélection mis en œuvre dans le registre de services permet de choisir parmi un ensemble de fournisseurs satisfaisant les propriétés fonctionnelles et non-fonctionnelles du service requis celui qui est le plus proche géographiquement. À l'issue de cette sélection, une référence sur le fournisseur est retournée au client. Cette référence pourra ensuite être utilisée lors de l'invocation. Si aucun fournisseur n'est trouvé, la valeur nulle est alors retournée.

Dans notre plate-forme intergicielle, l'invocation asynchrone est réalisée en utilisant notamment les objets de types *InvocationRequest*, *InvocationResponse*, *ServiceInvoker* et *ServiceResponseHandler*. Pour invoquer de manière asynchrone un service distant, un service client doit utiliser les méthodes *asyncInvoke()* définies par le *ServiceInvoker*. La première méthode prend en paramètre un objet de type *InvocationRequest* et un objet de type *InvocationResponseHandler*. Ce dernier est utilisé par le client pour traiter les réponses de manière événementielle. Il prend en paramètre un délai –qui peut être égal à la durée de vie de la requête– et le nombre de réponses maximum attendues. Lorsque le délai ou lorsque le nombre maximum de réponses est atteint, l'objet se désenregistre lui-même du service de communication afin de ne plus recevoir de messages. La seconde méthode *asyncInvoke()* prend seulement en paramètre un objet de type *InvocationRequest*. Cette méthode est bloquante, et ne retourne un résultat que lorsqu'une réponse est reçue depuis le réseau. Si le délai spécifié dans la requête est atteint, la méthode retourne en résultat la valeur nulle.

5. RÉSULTATS D'ÉVALUATION

Dans ce paragraphe, nous présentons les résultats de simulation obtenus en exécutant notre plate-forme intergicielle sur le simulateur de réseaux mobiles ad hoc MADHOC¹. Ce simulateur écrit dans le langage de programmation Java nous permet d'exécuter notre plate-forme, et de l'évaluer selon différents scénarios. Dans la suite de ce paragraphe, nous nous focalisons sur une expérimentation dont l'objectif était d'évaluer l'impact des informations de localisation sur les processus de découverte et d'invocation des services. Pour ce faire, nous comparons les résultats obtenus pour quatre configurations différentes de la plate-forme pour un même scénario.

5.1 Paramètres et hypothèses de simulation

À l'instar du scénario présenté dans le paragraphe 2, nous considérons un environnement de simulation de 10 km2 contenant 4 bâtiments de tailles différentes, et dans lequel évoluent 80 individus dotés d'assistants numériques personnels équipés d'interface

¹<http://agamemnon.uni.lu/~lhogie/madhoc>

de communication Wi-Fi. Ces individus se déplacent entre les bâtiments suivant des routes bien définies, et restent environ 10 minutes dans les bâtiments. En outre, nous considérons que 20 infostations offrant des services sont réparties dans ces 4 bâtiments. Ces infostations annoncent périodiquement toutes les minutes les services qu'elles offrent. Par ailleurs, nous considérons que seulement 60 des 80 individus sont intéressés par ces services, et qu'en outre 70 de ces 80 individus acceptent de relayer les messages qu'ils reçoivent. Après avoir découvert un fournisseur offrant le service qu'ils requièrent, ces 60 individus effectuent périodiquement, lorsque cela est possible, des requêtes d'invocation de services (toutes les 2 minutes). La durée de la simulation est de 3 heures.

Du point de vue des communications, chaque terminal émet les messages créés par les services locaux et les messages qu'ils ont reçus par leurs voisins toutes les 15 secondes, si ceux-ci sont valides bien évidemment. Chaque message possède une durée de vie de 4 minutes et un nombre maximum de 4 sauts. En outre, les nœuds jouant le rôle de relais réémettent presque instantanément les messages qu'ils reçoivent.

Lors des simulations, nous avons en outre utilisé deux types de protocoles de communication opportuniste, à savoir le protocole reposant sur un modèle épidémique simple, et le protocole mettant en œuvre un modèle épidémique contrôlé par des informations de géolocalisation. Dans le cadre de ces simulations, nous avons donc étudié la charge du réseau en utilisant ces deux protocoles différents, ainsi que les délais de réponse et les taux d'échec des invocations selon que nous considérons l'information de localisation dans le processus de sélection des services ou non. En résumé, les quatre cas d'étude sont les suivants :

- Cas 1: Le processus de sélection des fournisseurs ne tient pas compte des informations de localisation, et le protocole de communication repose sur un modèle épidémique simple.
- Cas 2: Le processus de sélection des fournisseurs tient compte des informations de localisation, et le protocole de communication repose sur un modèle épidémique simple.
- Cas 3: Le processus de sélection des fournisseurs tient compte des informations de localisation, et le protocole de communication repose sur un modèle épidémique contraint par des informations de localisation.
- Cas 4: Similaire au cas 3, sauf que l'invocation est ici restreinte à la zone d'invocation spécifiée par le fournisseur de service.

5.2 Évaluation de la partie service

La figure 8 représente l'évolution du processus de découverte dans le temps. Après une heure et trente minutes de simulation, un régime stationnaire est atteint: tous les clients ont réussi à découvrir la totalité des fournisseurs présent dans l'environnement.

Le tableau 1 montre l'importance de la sélection des services en fonction des informations de localisation. En effet, pour les invocations géolocalisées on observe un délai moyen d'environ 20 secondes, alors que que l'on obtient un délai d'environ 109 secondes pour les invocations qui sont effectuées sans prises en compte des informations de localisation dans le processus de sélection des services. En outre, l'écart type s'en trouve également réduit.

On remarque cependant une grande variation dans le taux d'échec des trois applications reposant sur le processus de sélection des services orienté localisation. Cette variation s'explique par les échecs induits par la restriction des messages aux zones géographiques

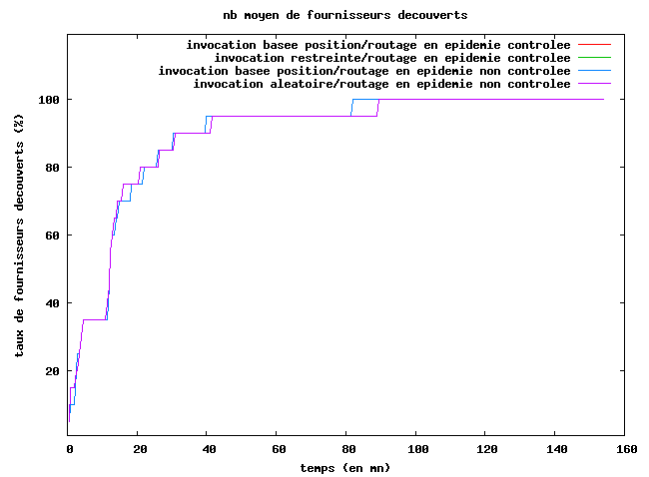


Figure 8: Évolution de la phase de découverte dans le temps

spécifiées dans les entêtes de messages. Par exemple, pour le taux d'échec le plus bas (11,62% pour le cas 2) les messages ne sont pas bornés géographiquement contrairement au cas 3 dans lequel les messages d'invocation sont envoyés par la couche de gestion des services mais restent en attente d'émission dans la couche de communication jusqu'à ce que le terminal soit dans la zone d'invocation considérée.

Afin de résoudre ce problème, dans le cas 4 la couche de gestion des services attend que le terminal soit dans la zone d'invocation du service considéré pour invoquer ce dernier, diminuant ainsi le taux d'échec des invocations tout en préservant les performances en termes de temps de réponse et de charge réseau (cf tableau 2). Cependant, comme le montre les résultats de la troisième colonne du tableau 1 cette application introduit un temps d'attente moyen de plus d'une minute² avant de permettre à l'application cliente de pouvoir invoquer. Ce délai peut atteindre jusqu'à 20 minutes. Il dépend de la mobilité de l'individu.

5.3 Évaluation de la partie communication

Le tableau 2 montre une réduction de la charge globale du réseau ainsi qu'une concentration du trafic dans les bâtiments grâce à l'exploitation des informations de positionnement. En effet, en comparant les cas d'études fondés sur une épidémie contrôlée (cas 4 et cas 3) aux cas d'études basés sur une épidémie non contrôlée (scénarios 1 et 2) on remarque que le trafic global est réduit de moitié lorsque les messages relatifs au processus d'invocation sont restreints à une zone donnée. De plus, en comparant les trafics inter-zones et intra-zone liés à l'invocation on remarque que le trafic inter-zones est effectivement réduit à moins de 3% en inter-zones.

6. TRAVAUX CONNEXES

6.1 Découverte et invocation de service

La plupart des travaux traitant de la prestation de services dans les réseaux mobiles ad hoc se sont focalisés sur le processus de découverte, et ont proposé des protocoles de découverte couplés de manière étroite au protocole de routage afin de réduire au maximum les communications et le surcoût de consommation énergétique. Dans ces protocoles, les requêtes et les réponses sont souvent

²Les 2 minutes supplémentaires représentent la fréquence d'invocation et sont communes à toutes les applications.

	invocations envoyées	taux d'échec (%)	délais moyen d'attente pour envoyer une invocation	délais moyen d'invocation réussie (s)	écart type d'invocation réussie (s)
Cas 1	4598	67,40	2mn+1,08s	109,6	134
Cas 2	4611	11,62	2mn+0,75s	18	54,1
Cas 3	4606	81,55	2mn+0,87s	20,9	54,6
Cas 4	2865	33,75	2mn+73,40s	20,1	51,9

Table 1: Performances au niveau service

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
charge globale (en nombre de messages)	3537988	1331732	2940699	1948290
charge d'invocation (en nombre de messages)	2346738	127632	2940699	742582
trafic (invocation) inter-zones	40,11%	2,31%	40,52%	2,32%
trafic (invocation) intra-zone	59,89%	97,69%	59,48%	97,68%

Table 2: Répartition de la charge du réseau

intégrées aux messages de routage en utilisant de technique de *piggybacking*. Ainsi, un terminal peut découvrir un service tout en étant informé de la route qui doit être empruntée pour atteindre le fournisseur de ce service. [24], [23] et [10] sont des exemples de tels protocoles. Cependant, ces protocoles supposent que les communications entre deux terminaux mobiles ne sont possibles que si ceux-ci sont simultanément présents dans le réseaux et qu'il existe un chemin de bout-en-bout entre ces terminaux, ce qui n'est pas toujours possible dans des réseaux mobiles ad hoc dynamiques et fragmentés.

Dans les protocoles de découverte de niveau applicatif, la découverte est mise en œuvre au dessus du protocole de routage, et ne fait aucune supposition vis-à-vis de ce dernier. Ces protocoles sont généralement implantés au sein de plates-formes intergicielles orientées services dédiées aux réseaux mobiles. Par exemple, Konark [5], DEAPspace [6] et PDS [14, 18] ont étudié la découverte et l'invocation de services dans les réseaux mobiles ad hoc avec des plates-formes intergicielles mettant en œuvre de tels protocoles. DeapSpace permet de découvrir et d'invoquer des services situés dans le voisinage immédiat (i.e., à 1 saut). Il implante pour ce faire un processus de découverte fondé sur une approche proactive. L'intergiciel Konark vise des objectifs comparables à ceux de DeapSpace, mais considère la découverte et l'invocation à plusieurs sauts. Tout comme dans DeapSpace, dans Konark, chaque hôte est chargé de maintenir sa propre vision des services disponibles dans le réseau, et est susceptible de se comporter à la fois comme fournisseur de service ou comme client. Konark supporte en outre un modèle de découverte combinant à la fois une approche proactive et réactive. Cependant, Konark fait des suppositions vis-à-vis du réseau puisqu'il considère qu'il existe une route entre le client et le fournisseur pour effectuer l'invocation. En outre, ni DeapSpace, ni Konark ne prennent en compte les propriétés de localisation. Pourtant une telle information peut aider dans l'acheminement et le contrôle de la propagation des messages dans le réseau, ainsi que dans la sélection des services.

En ce qui concerne l'exploitation de l'information de localisation au niveau des services, peu de travaux ont été réalisés à notre connaissance. Dans [14], Meier et al. présentent un protocole de découverte de service orienté proximité (PDS pour *Proximity-Based Discovery Protocol*) pour les réseaux mobiles ad hoc. PDS propose une approche de la découverte qui exploite le fait que les

services sont souvent pertinents et limités à une zone géographique précise. Les fournisseurs de services doivent définir les zones (baptisée *proximités*) dans lesquelles leurs services sont disponibles. Dans PDS, un client intéressé par un service peut être notifié lorsqu'il arrive à proximité du services qu'il requiert. Dans PDS, les zones de proximité sont définies par une forme géométrique et par des coordonnées. Ces informations sont incluses dans les requêtes de découverte afin de chercher les services pertinents. Néanmoins, PDS ne support pas d'autres représentations de la notion de localisation actuellement. Par exemple, il ne considère pas une localisation identifiée par un nom symbolique. En outre, tout comme les travaux présentés précédemment, l'invocation des services dans [14] est réalisée de manière synchrone avec des communications de bout-en-bout.

6.2 Communication opportunistes

Les communications opportunistes sont récemment apparues comme une approche prometteuse pour permettre aux applications de communiquer lorsque les communications synchrones de bout-en-bout ne sont pas possibles. Plusieurs travaux réseaux ont pour objectifs de concevoir des protocoles de communication opportunistes ou tolérants les délais ou les ruptures de connectivité [4, 12, 17, 19, 20]. Le protocole de routage épidémique [22], le *disconnected transitive communication protocol* [3], le protocole de communication asynchrone probabiliste [13], le protocole adaptatif sensible au contexte [16, 15], le protocole de routage basé sur un historique [2], le *Opportunistic Spatio-Temporal Dissemination System* [11] et le *Time-Aware Content-based Dissemination System* [21] sont des exemples de tels protocoles. Bien que les systèmes de positionnement soient désormais largement répandus, peu de protocoles opportunistes exploitent les propriétés de localisation jusqu'à présent. GeOpps [11] en est cependant un exemple. Il met en œuvre le principe du *store, carry and forward* et est dédié aux réseaux véhiculaires, et exploite l'information de localisation offerte dans les systèmes de navigation afin de sélectionner les véhicules qui sont susceptibles de transporter le message vers sa destination. Cependant, ce protocole n'est pas adapté au modèle de mobilité humaine. En effet, contrairement à des véhicules, les individus ne suivent pas nécessairement une route prédéfinie et ont un comportement plus aléatoire dans leur déplacement, rendant un acheminement planifié des messages difficile à mettre œu-

vre. GPCR [9], Terminode routing [1], et GRA [8] sont également des protocoles de routage qui prennent en compte la localisation. Ils utilisent uniquement l'information de localisation de leur voisinage pour relayer les données. Le routage est réalisé dans un mode économe en envoyant le paquet de données au voisin le plus proche de la destination. Le choix optimal local est répété par chaque nœud intermédiaire jusqu'à ce que le paquet atteigne sa destination ou que la durée de vie du paquet (qui est exprimée en nombre de saut) soit atteinte. Ce modèle est plus adapté à un modèle de mobilité humaine.

7. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une plate-forme intergicielle supportant la découverte et l'invocation de services géolocalisés dans des réseaux qualifiés de difficiles que sont les réseaux mobiles ad hoc discontinus. Pour ce faire, cette plate-forme intergicielle met en œuvre une couche de gestion des services sensible à la géolocalisation et une couche de communication opportuniste capable de prendre en compte des informations de localisation afin de circonscrire la dissémination des messages dans le réseau. Cette plate-forme offre en outre différentes modélisations de la notion de localisation et différentes méthodes pour obtenir et traiter ces informations.

Dans cet article, nous avons en outre montré, à travers des résultats de simulation, l'importance de la géolocalisation dans les processus de découverte, de sélection et d'invocation des services, ainsi que du point de vue des communications. Dans le futur, nous prévoyons d'améliorer notamment la couche de communication afin de mettre en œuvre des heuristiques permettant aux nœuds mobiles de décider quels sont les nœuds voisins les plus à même de délivrer un message donné en fonction de leur direction et de leur vitesse de déplacement. Nous prévoyons également d'améliorer celle-ci en intégrant des techniques de *gossiping* afin de permettre aux nœuds mobiles de ne diffuser que les messages pertinents pour leurs voisins, et de pouvoir exprimer lors de cette diffusion les informations qu'ils requièrent.

Crédit

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet SARAH (Service Asynchrones pour Réseaux mobiles Ad Hoc), financé par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du programme ARA SSIA (Actions de Recherche Amont en Sécurité, Systèmes embarqués et Intelligence Ambiante) sous le contrat ANR-05-SSIA-0002-01.

8. REFERENCES

- [1] Ljubica Blazevic, Jean-Yves Le Boudec, and Silvia Giordano. A Location-Based Routing Method for Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 3(4):1–15, October 2004.
- [2] Chiara Boldrini, Marco Conti, Iacopo Iacopini, and Andrea Passarella. Hibop: a history based routing protocol for opportunistic networks. In Marco Conti, editor, *Proc. IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks WoWMoM 2007*, pages 1–12, 2007.
- [3] X. Chen and A. L. Murphy. Enabling disconnected transitive communication in mobile ad hoc networks. In *Workshop on Principles of Mobile Computing*, pages 21–23, aug 2001.
- [4] Kevin Fall. A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets. In *Proceedings of ACM SIGCOMM03*, August 2003.
- [5] S. Helal, N. Desai, V. Verma, and C. Lee. Konark : Service Discovery and Delivery Protocol for Ad-hoc Networks. In *Third IEEE Conference on Wireless Communication Networks (WCNC)*, New Orleans, USA, March 2003.
- [6] Reto Hermann, Dirk Husemann, Michael Moser, Michael Nidd, Christian Rohner, and Andreas Schade. DEAPSpace: Transient Ad-Hoc Networking of Pervasive Devices. In *1st ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pages 133 – 134, Boston, Massachusetts, USA, 2000. ACM.
- [7] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello. Location Systems for Ubiquitous Computing. *IEEE Computer*, 34:57–66, August 2001.
- [8] Rahul Jain, Anuj Puri, and Raja Sengupta. Geographical Routing Using Partial Information for Wireless Ad Hoc Networks. *IEEE Personal Communications*, 8:48–57, 2001.
- [9] Brad Karp and H. T. Kung. GPCR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In *6th International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom00)*, pages 243–254. ACM Press, August 2000.
- [10] U. C. Kozat and L. Tassiulas. Network Layer Support for Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of IEEE/INFOCOM-2003*, April 2003.
- [11] Ilias Leontiadis and Cecilia Mascolo. GeoOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks. In *IEEE Workshop on Autonomic and Opportunistic Communications (Colocated with WOWMOM07)*, pages 1–6, Helsinki, Finland, jun 2007. IEEE Press.
- [12] Qun Li and Daniela Rus. Sending Messages to Mobile Users in Disconnected Ad-hoc Wireless Networks. In *Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pages 44–55, Boston, August 2000. ACM Press.
- [13] A. Lindgren, A. Doria, and O. Schelen. Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks. In *Proceedings of the The First International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources (SAPIR 2004)*, Fortaleza, Brazil, August 2004.
- [14] René Meier, Vinny Cahill, Andronikos Nedos, and Siobhán Clarke. Proximity-Based Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the 5th IFIP International Conference on Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS'05)*, volume 3543 of *LNCS*, Athens, Greece, June 2005. Springer.
- [15] Mirco Musolesi, Stephen Hailes, and Cecilia Mascolo. Adaptive Routing for Intermittently Connected Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the IEEE 6th International Symposium on a World of Wireless, Mobile, and Multimedia Networks (WoWMoM 2005)*, Taormina, Italy. IEEE press, June 2005.
- [16] Mirco Musolesi, Cecilia Mascolo, and Stephen Hailes. Adapting Asynchronous Messaging Middleware to Ad Hoc Networking. In *Proceedings of 2nd ACM International Workshop on Middleware for Pervasive and Ad Hoc Computing (MPAC 2004) in Middleware 2004 Companion*, pages 121–126, Toronto, Canada, October 2004. ACM Press.
- [17] Mirco Musolesi, Cecilia Mascolo, and Stephen Hailes. EMMA: Epidemic Messaging Middleware for Ad hoc networks. *Personal and Ubiquitous Computing Journal*, 2005. To Appear.
- [18] Andronikos Nedos, Kulpreet Singh, and Siobhán Clarke. Service*: Distributed Service Advertisement for Multi-Service, Multi-Hop MANET Environments. In *Proceedings of 7th IFIP International Conference on Mobile*

and *Wireless Communication Networks (MWCN'05)*, Marrakech, Morocco, September 2005.

- [19] Luciana Pelusi, Andrea Passarella, and Marco Conti. Opportunistic Networking: Data Forwarding in Disconnected Mobile Ad Hoc Networks. *IEEE Communications Magazine*, nov 2006.
- [20] Ritesh Shah and Norman C. Hutchinson. Delivering Messages in Disconnected Mobile Ad-Hoc Networks. In *Proceedings of ADHOC-NOW 2003*, Montreal, October 2003.
- [21] Guiseppe Sollazzo, Mirco Musolesi, and Cecilia Mascolo. TACO-DTN: A Time-Aware Content-based dissemination system for Delay Tolerant Networks. In *MobiOpp 07: Proceedings of the 1st international MobiSys workshop on Mobile opportunistic networking*, pages 83–90, New York, NY, USA, jun 2007. ACM Press.
- [22] Amin Vahdat and David Becker. Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks. Technical report, Duke University, April 2000.
- [23] Christopher N. Ververidis and George C. Polyzos. Routing Layer Support for Service Discovery in Mobile Ad Hoc Networks. In *Pervasive Wireless Networking Workshop of the 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications PerCom 2005*, pages 258–262, Kauai Island, Hawaii, mar 2005.
- [24] Feng Zhu, Matt Mutka, and Lionel Ni. PrudentExposure: A Private and User-centric Service Discovery Protocol. In *Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04)*, pages 329–338, Orlando, Florida, USA, mar 2004.