HAL
open science

Découverte automatique entre terminaux mobiles communicants

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre

To cite this version:

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre. Découverte automatique entre terminaux mobiles communicants. [Rapport de recherche] RR-4979, INRIA. 2003. inria-00071599

HAL Id: inria-00071599

https://inria.hal.science/inria-00071599v1

Submitted on 23 May 2006

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.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

Découverte automatique entre terminaux mobiles communicants

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre

N°4979

Octobre 2003

THÈME 1

Rapport de recherche

ISSN 0249-6399 ISRN INRIA/RR--4979--FR

Découverte automatique entre terminaux mobiles communicants

Arnaud Troël, Frédéric Weis, Michel Banâtre *

Thème 1 — Réseaux et systèmes
Projet ACES

Rapport de recherche n°4979 — Octobre 2003 — 39 pages

Résumé : Dans le domaine des communications sans fil entre appareils mobiles, la détection et la représentation du voisinage repose traditionnellement sur l'échange de messages de présence entre terminaux identiques. Dans ce document, nous considérons des terminaux mobiles à profils hétérogènes, dans le sens où chacun d'entre eux dispose d'une portée de communication et d'une mobilité moyenne qui lui est propre. Nous avons développé un nouveau protocole de voisinage permettant la représentation de ces différents profils dans la perception informatique du voisinage des terminaux. Nous nous appuyons sur ce protocole pour proposer une nouvelle approche permettant de cadencer automatiquement le processus de découverte.

Mots-clé : communications sans fil, mobilité, interactions de proximité

(Abstract: pto)

* {Arnaud.Troel, Frederic.Weis, Michel.Banatre}@irisa.fr

Unité de recherche INRIA Rennes
IRISA, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex (France)
Téléphone : 02 99 84 71 00 - International : +33 2 99 84 71 00
Télécopie : 02 99 84 71 71 - International : +33 2 99 84 71 71

Automatic neighborhood discovery between wireless mobile appliances

Abstract: In the field of the wireless communications between mobile appliances, the detection and the representation of the neighborhood is traditionally based on presence messages exchanges between identical terminals. In this study, we consider mobile terminals with heterogeneous profiles, in a way that each one has its own communication range and its own average mobility. We developed a new neighborhood discovery protocol that enables the representation of these different profiles in the terminals' view of the neighborhood. We now propose a new approach based on this protocol to automatically clock the discovery process.

Key-words: mobile computing, proximate interactions

Table des matières

1 Introduction **5**

2 Réseaux sans fil et terminaux mobiles **6**
2.1 Les réseaux cellulaires 6
2.2 Les réseaux ad hoc 7
2.3 Les réseaux personnels 8
2.4 Synthèse 9

3 Nécessité d'une représentation du voisinage des terminaux mobiles **11**
3.1 Voisinage des terminaux 12
3.2 Définition des relations de voisinage 13
3.3 Mécanismes des relations de voisinage 14
3.3.1 Détection et amélioration d'une relation de voisinage 14
3.3.2 Dégradation et expiration d'une relation de voisinage 15
3.4 Protocole de découverte 15
3.5 Implantation système 18
3.5.1 Côté serveur 18
3.5.2 Côté client 18
3.6 Synthèse 18

4 Cadencement automatique du mécanisme de découverte **20**
4.1 Démarche retenue 20
4.2 Mise en évidence du rôle de la fréquence d'émission 20
4.2.1 Fréquence d'émission trop faible 21
4.2.2 Fréquence d'émission trop importante 21
4.2.3 Bilan 22
4.3 Approche préliminaire 22
4.3.1 Principe 22
4.3.2 Configuration du dispositif 23
4.3.3 Avantages et limitations 24
4.4 Modélisation du problème 24
4.4.1 Représentation cinématique 25
4.4.2 Condition de détection 25
4.4.3 Extension de la condition au voisinage tout entier 26
4.4.4 Obtention d'un paramètre universel 26
4.4.5 Calcul automatique de la fréquence 27

4.5 Mécanisme de découverte à cadence automatique 28
4.5.1 Évaluation des mouvements à partir de la vitesse 28
4.5.2 Évaluation des mouvements à partir de la distance 29
4.5.3 Prédiction de voisinage à partir de la distance 30
4.5.4 Limites de l'approche 32
4.5.5 Implantation 33

5 Conclusion et perspectives 36

Table des figures

1 Exemple de réseau cellulaire 6
2 Exemple de réseau ad hoc 8
3 Exemple de scatternet Bluetooth 10
4 Exemple de relation de voisinage asymétrique 13
5 Discrimination simple des voisins 14
6 Volume de messages 16
7 Volume de données 17
8 Nouvelle implantation système 19
9 Exemple de fréquence de signalement trop faible 21
10 Exemple de fréquence de signalement trop importante 22
11 Interface du service simple de gestion du voisinage 23
12 Interprétation cinématique 25
13 Régressions linéaire et parabolique 31
14 Cas d'adaptation inutile de la fréquence 32

Liste des algorithmes

1 Mise-à-jour de la table de voisinage 34
2 Calcul de la fréquence d'émission (vitesses seulement) 34
3 Calcul de la fréquence d'émission (vitesses et caps) 35
4 Emission d'un message 35
5 Suppression des terminaux disparus 36

1 Introduction

Un nouveau type de terminal informatique connaît actuellement un développement spectaculaire. Des terminaux à la fois portables et communicants ont en effet récemment vu le jour. Les assistants personnels dotés d'une interface de communication à courte portée, telle Bluetooth [7], ou moyenne portée, comme WiFi [4], en sont l'exemple le plus flagrant.

Ces terminaux ont rendu possible la naissance d'une nouvelle classe d'applications dont l'originalité réside dans le rôle prépondérant que la proximité physique des protagonistes joue dans les échanges d'informations. C'est précisément ce type d'échanges entre entités proches et mobiles que nous appelons *interactions de proximité*.

Considérons, par exemple, le cas d'un auto-stoppeur publiant sa destination par le biais de l'assistant communicant dont il dispose. Les automobiles dotées de ce type d'équipements passant à proximité de l'auto-stoppeur reçoivent l'information et peuvent, dès lors, décider de s'arrêter. Les échanges effectués ici ne sont pertinents que parce que les véhicules passent à proximité du piéton.

Le développement pérenne de ce genre d'applications nécessite que chaque terminal mobile communicant connaisse l'ensemble des entités informatiques de son entourage. L'établissement d'une représentation informatique du monde physique est donc une condition préalable au fonctionnement des interactions de proximité.

Un premier protocole de détection du voisinage a précédemment été proposé dans [14]. Il permet l'établissement de la liste des voisins d'un terminal donné. Il repose sur l'émission de messages de présence par chaque terminal. La fréquence à laquelle ces messages doivent être émis reste toutefois un problème ouvert. C'est précisément de ce dernier point que nous traitons dans ce document.

Nous évoquons tout d'abord, dans la partie 2, les réseaux sans fil dans lesquels les terminaux mobiles communicants évoluent traditionnellement. Nous rappelons ensuite, dans la section 3 de quelle manière une représentation du voisinage de terminaux à portée et mobilités différentes peut être réalisée au niveau système. Nous proposons enfin, dans la partie 4, notre approche pour la prise en compte de la mobilité de ces terminaux dans l'élaboration de cette représentation et concluons cette étude sur les perspectives qu'elle propose.

2 Réseaux sans fil et terminaux mobiles

Les terminaux mobiles et communicants effectuent des échanges d'informations au sein de réseaux sans fil. Selon leurs principales caractéristiques, ces réseaux sont traditionnellement classés en trois groupes que sont les *réseaux cellulaires*, dans lesquels les terminaux échangent des informations par le biais d'une infrastructure fixe, les *réseaux ad hoc*, où ces échanges sont réalisés grâce à un mécanisme de routage dynamique malgré l'absence d'infrastructure dédiée et enfin, les *réseaux personnels*, dans lesquels les données transitent entre terminaux immédiatement voisins.

2.1 Les réseaux cellulaires

Un réseau cellulaire est un système de communication sans fil dans lequel les terminaux, appelés aussi *stations mobiles*, communiquent entre eux par le biais d'une infrastructure fixe dédiée. Cet accès au réseau par le terminal s'effectue au moyen de bornes, ou *stations de base*, disséminées dans le territoire couvert par le réseau. Ceci est illustré sur la figure 1.

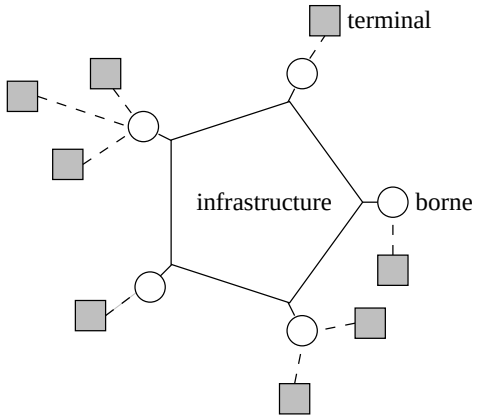

FIG. 1 – *Exemple de réseau cellulaire*

En fonction de sa puissance d'émission, chaque borne couvre une zone géographique nommée *cellule*. Lorsqu'un usager se déplace, la qualité du lien radio entre la station mobile et la station de base à laquelle elle se réfère pour accéder au réseau peut se dégrader jusqu'à le rendre inutilisable. Un changement de station de base de référence doit alors être réalisé. Ce processus de passage d'une station de base à une autre est nommé *transfert intercellulaire*, ou encore *hand-over*.

Pour détecter la meilleure station de base disponible, une évaluation de la qualité du lien entre le terminal et les stations de base à sa portée est réalisée régulièrement. Elle repose généralement sur la mesure de la puissance des signaux reçus. L'heuristique utilisée reste dépendante de la mise en œuvre du réseau considéré. Lorsqu'une station candidate est trouvée, la station mobile demande au réseau de commander le transfert. Ce transfert intercellulaire peut accessoirement être déclenché exclusivement par le réseau, dans un objectif d'équilibrage de charge, par exemple.

Le domaine d'application le plus connu aujourd'hui est certainement celui de la téléphonie sans fil dont GSM [10] et GPRS [8] sont les normes en Europe. Des projets relevant du domaine de l'informatique diffuse les ont aussi exploité. Nous citerons les projets pionniers que sont Parctab [16] de Rank Xerox et Active Badge [15] d'Olivetti. Dans ces études, les utilisateurs sont reliés au système central par le biais de terminaux infrarouges communiquant avec des bornes d'accès disséminées au sein d'un immeuble. Active Badge propose un service de localisation, tandis que Parctab offre un accès distribué et transparent aux ressources informatiques disponibles dans le bâtiment.

Seule la détection des stations de base voisines de la station mobile est traditionnellement effectuée. La détection des autres terminaux n'est pas réalisée, car c'est au réseau qu'il incombe de trouver le correspondant recherché, quand bien même il se trouverait à proximité de l'initiateur de la communication. Dans ce type de réseau, le voisinage d'un terminal consiste en l'ensemble des stations de base à sa portée. Les réseaux cellulaires ne considèrent traditionnellement pas la possibilité pour deux terminaux de communiquer directement, c'est-à-dire en court-circuitant l'infrastructure fixe. Ce type de communication est principalement traité dans les réseaux ad hoc ou personnels que nous allons présenter dans les sections suivantes.

2.2 Les réseaux ad hoc

Par opposition aux réseaux cellulaires, les réseaux ad hoc sont dépourvus d'infrastructure fixe chargée de l'interconnexion des terminaux. Lorsque la population des terminaux devient suffisamment dense, des échanges deviennent toutefois possibles. Pour cela, chaque terminal joue le rôle de routeur et relaie de proche en proche les messages à transmettre.

Il existe deux approches principales à la conception des protocoles de communication pour les réseaux ad hoc. L'approche *proactive*, d'une part, calcule de manière continue les routes disponibles au sein du réseau. L'approche *réactive* ou *à la demande*, quant à elle, calcule les routes uniquement lorsqu'elles sont nécessaires. Une taxonomie plus complète a été proposée par Feeney dans [5].

Lorsque les réseaux ad hoc sont considérés, aucune technologie permettant la communication entre nœuds mobiles n'est *a priori* désignée. Il est cependant indéniable que ce

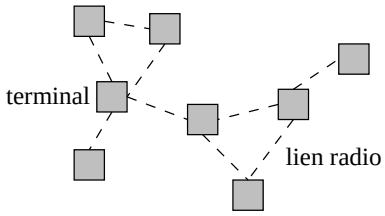

FIG. 2 – *Exemple de réseau ad hoc*

sont les réseaux locaux sans fil, ou WLAN, qui apparaissent comme la technologie la plus commune. En effet, les prototypes sont, pour la plupart, réalisés avec IEEE 802.11b [4] en mode point-à-point (ou mode *ad hoc* par opposition au mode *infrastructure* fonctionnant de manière cellulaire). Le développement des protocoles ad hoc au dessus de Bluetooth [7] est cependant un thème de recherche actuellement très actif au sein de la communauté scientifique.

Les cartes de communication IEEE 802.11b permettent la communication entre deux terminaux éloignés d'environ 200 mètres en extérieur avec un débit maximum de 11 Mbps. C'est une technologie qui repose sur les ondes radioélectriques et dont la gestion de l'accès au médium est très semblable à la façon dont cela est réalisé avec Ethernet : chaque carte dispose en effet d'un identifiant unique lui permettant de savoir, lors de la réception d'une trame réseau, si elle lui est destinée ou non. En mode ad hoc, cette technologie n'inclut cependant pas de mécanisme actif permettant la découverte des terminaux accessibles directement. Cela doit donc être réalisé au niveau logiciel.

Même si elle n'est pas indispensable, la détection du voisinage physique des terminaux s'avère toutefois intéressante lorsqu'elle intervient dans le processus de routage. Elle permet d'améliorer les performances du protocole de communication. Les protocoles LAR [9] (*Location Aided Routing*) et DREAM [2] (*Distance Routing Effect Algorithm for Mobility*) proposent notamment de s'appuyer sur la connaissance du mouvement des terminaux pour réduire la zone de recherche des routes. Une autre approche proposée par Su [11] consiste par ailleurs à estimer la durée de vie des liens entre les routeurs pour anticiper les ruptures de routes et offrir une latence minimale dans le mécanisme de routage.

2.3 Les réseaux personnels

Les réseaux présentés précédemment permettent l'interconnexion des terminaux mobiles au sein d'une zone commune. En implantant leur infrastructure, les réseaux cellulaires définissent une zone de couverture au sein de laquelle les terminaux peuvent échanger des

informations. De manière plus locale, les terminaux formant un réseau ad hoc définissent une zone dynamique dans laquelle les informations circulent. Cette notion de zone de communication peut être réduite jusqu'à ne considérer que les échanges du point de vue d'un terminal. Ce réseau centré autour du terminal est ce que l'on nomme un réseau personnel.

Dans ces réseaux, une simple communication en étoile, dans laquelle un terminal particulier communique avec ses voisins, est généralement envisagée. Ces réseaux sont très présents dans les systèmes centrés sur les interactions entre un utilisateur et des terminaux tels que des imprimantes, des microphones, etc... À titre d'exemple, une personne équipée d'un ordinateur portable, d'un téléphone cellulaire ainsi que d'un micro-casque peut se connecter sur Internet ou téléphoner sans brancher aucun fil. Il peut aussi, dans une salle de réunion, accéder au vidéo-projecteur ou à l'imprimante, sans connexion physique.

Ce type de connectivité a été rendue possible avec l'apparition de technologies de communication sans fil à moyenne portée, telle que WiFi, ou à courte portée, telle que Bluetooth. Cette dernière trouve d'ailleurs naturellement sa place au sein de ces réseaux. C'est en effet, une technologie qui a été développée dans le but précis de servir ce type de réseau et qui permet la mise en œuvre de communications sans fil de courte portée. Un terminal équipé peut ainsi transmettre des informations dans une zone géographique d'une dizaine de mètres de rayon.

La communication entre terminaux Bluetooth n'est pas symétrique comme c'était le cas avec les technologies de réseaux locaux. Elle repose en effet sur la notion de *maître* et d'*esclave*. Ainsi, un terminal maître peut communiquer avec sept terminaux esclaves au plus. L'ensemble de ces terminaux forment un *piconet*. Le débit maximum au sein d'un piconet est de 700 Kbps partagés parmi les terminaux. Un esclave peut toutefois être maître d'un autre piconet. Les deux piconets sont alors inter-connectés et forment un *scatternet*, comme illustré sur la figure 3.

2.4 Synthèse

Dans cette partie, nous avons évoqué les principaux type de réseau sans fil que sont les réseaux cellulaires, le réseaux ad hoc et les réseaux personnels. Ils se différencient par le type de connectivité qu'ils offrent aux terminaux qui y participent.

Les réseaux cellulaires privilégient une communication globale couplée à une forte connectivité. Ils proposent aux applications une couche d'adaptation permettant un accès global au réseau, tout en masquant les impacts qu'occasionne la mobilité des utilisateurs. Des applications classiques peuvent ainsi être exécutées quand bien même elles n'auraient pas été conçues pour fonctionner spécifiquement sur ce type de réseau.

Les réseaux ad hoc proposent une connectivité à la fois moins forte mais aussi plus souple que les réseaux précédents. La zone géographique couverte par ce type de réseau est,

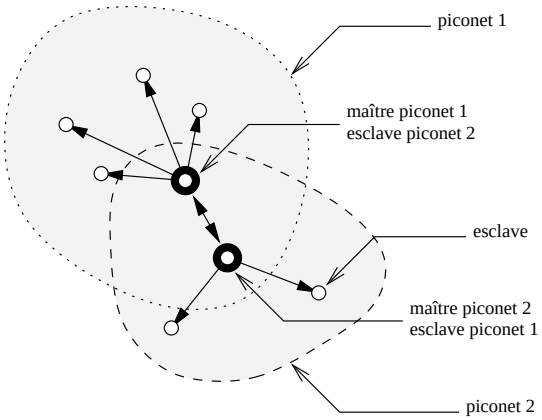

FIG. 3 – *Exemple de scatternet Bluetooth*

d'une part, plus réduite et, d'autre part, évolue en fonction des mouvements des terminaux. Ces réseaux tentent aussi de proposer un mécanisme de routage visant à abstraire les applications des contraintes liées à la mobilité physique des nœuds, afin que des applications classiques puissent, elles aussi, fonctionner. Le contexte plus local des communications conditionne cependant la nature des applications et c'est très souvent dans les domaines militaire et des secours qu'on les envisage.

Les réseaux personnels proposent quant à eux une connectivité exclusivement locale permettant généralement de régler des problèmes de câblage, tout en permettant à des terminaux informatiques de communiquer. Les applications envisagées sont généralement centrées autour de l'utilisateur pour lui permettre d'accéder facilement aux appareils qui l'entourent.

Dans la partie suivante, nous rappelons la manière dont nous avons conçu notre protocole de détection et de représentation du voisinage entre des terminaux à profils hétérogènes, c'est-à-dire disposant de leur propre portée de communication et de leur propre mobilité. Nous détaillons, ensuite, notre approche au cadencement automatique de l'émission des messages de contrôle liés à ce dernier.

3 Nécessité d'une représentation du voisinage des terminaux mobiles

Comme nous venons de le constater, les réseaux sans fil doivent permettre aux terminaux de communiquer soit par le biais d'une borne d'accès à un réseau cellulaire, soit directement avec d'autres terminaux. Plus généralement, lorsque des échanges sont envisagés, se pose, pour un terminal donné, le problème de la détection et de la représentation informatique des terminaux directement accessibles. Il s'agit pour le terminal étudié d'élaborer une représentation informatique de son voisinage immédiat, dont la composition varie en fonction des mouvements propres des nœuds. Les problèmes soulevés par la construction et le maintien d'une représentation informatique s'expriment en terme de *réactivité* et de *cohérence* du monde informatique vis-à-vis du monde réel. En d'autres termes, il est nécessaire d'établir rapidement et de mettre régulièrement à jour une représentation des entités proches avec lesquelles un terminal peut interagir.

Le problème de la représentation informatique du voisinage est rarement l'objectif principal des études. Celles qui relèvent du domaine des réseaux ad hoc traitent principalement du problème de l'algorithme de routage dynamique. Le voisinage immédiat des routeurs n'apparaît généralement que comme un problème connexe. Cela se justifie par le fait que ces études supposent implicitement que chaque nœud du réseau sait quels en sont les autres protagonistes. Le problème est alors de pouvoir les atteindre ; l'identité des routeurs intermédiaires importe peu. Cela s'avère cependant regrettable dans la mesure où une connaissance plus fine du voisinage de chaque routeur peut permettre l'amélioration des performances des routages ad hoc existant, comme illustré dans [13]. Il est par ailleurs envisageable d'imaginer de nouveaux protocoles de routage reposant sur une représentation plus précise du voisinage.

Les systèmes reposant sur des réseaux personnels sont, quant à eux, plus soucieux de permettre à un terminal de connaître son environnement direct. Toutefois, ces systèmes n'envisagent très souvent qu'une mobilité transitoire des terminaux : ce peuvent être l'entrée d'un utilisateur dans une salle d'impression impliquant la découverte des imprimantes disponibles ou encore, la détection et l'utilisation d'un périphérique de visualisation, tel qu'un vidéo-projecteur dans une salle de réunion. Là encore, une connaissance plus fine du voisinage pourait ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine.

C'est probablement dans le domaine de l'ubiquité numérique que les travaux s'avèrent plus propices à envisager la représentation du voisinage physique. Plus précisément, ce sont les études mettant en œuvre des communications, le plus souvent spontanées, entre terminaux mobiles qui considèrent ce problème de plus près. Nous présentons ci-après deux

études, Spread et Persend, nécessitant une représentation du voisinage physique pour fonctionner efficacement.

Spread Spread [3] est un projet dont l'objectif est de permettre la gestion d'un système d'informations reposant sur l'espace physique. Chaque entité prend part au système d'informations grâce à une interface de communication sans fil. L'emplacement physique des objets participe, en fait, leur adressage informatique. En se déplaçant, une entité perçoit les informations d'autres nœuds au fur est à mesure qu'elle passe à leur portée de communication. Le fonctionnement de ce système repose sur un système de tuples similaire à celui proposé par Linda [6].

Dans le cadre de cette étude, un prototype, nommé Ubibus, permet aux malvoyants de prendre le bus sans avoir, notamment, à en déchiffrer le numéro. Grâce à un terminal informatique communicant et une interface vocale, l'usager peut demander l'arrêt de son bus et est prévenu de son approche imminente.

La connaissance au niveau informatique de l'ensemble des bus et des usagers présents dans le voisinage de l'abri-bus est nécessaire au fonctionnement de l'application.

Persend Persend [12] propose la mise en place de requêtes continues sur des bases de données relationnelles partagées par des nœuds mobiles communicants. Dans cette étude, chaque terminal dispose d'une base de données dont il autorise l'accès aux terminaux voisins. Les requêtes portant sur ces bases peuvent être *continues*, c'est-à-dire que leur résultat évolue dans le temps en fonction du contenu même de chaque base, mais aussi en fonction de la composition du voisinage.

Supposons, par exemple, que deux terminaux A et B publiant une table contenant le titre et le prix des albums musicaux qu'ils vendent. Supposons de plus que A cherche l'ensemble des albums disponibles dans son voisinage dont le prix ne dépasse pas dix euros. Le résultat de cette recherche peut évoluer si B modifie un de ses prix ou vend un album, mais aussi si B quitte le voisinage de A.

Il est, là encore, nécessaire à chaque terminal de disposer d'une représentation de son voisinage afin de détecter les apparitions et les disparitions des autres nœuds et de leurs données.

3.1 Voisinage des terminaux

Notre approche considère des terminaux dont la portée de communication est propre à chacun d'eux. Nous souhaitons, de plus, prendre en compte des terminaux de mobilité dif-

férente. Il est donc nécessaire d'examiner quelles sont les conséquences de ces hypothèses sur la relation de voisinage.

La première conséquence est que la relation de voisinage est asymétrique. En effet, la réception d'un message de présence d'un nœud B par un nœud A ne signifie plus que A peut atteindre B. Elle signifie seulement que A est à portée de B, comme cela est illustré sur la figure 4.

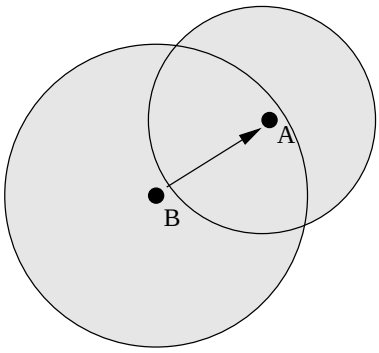

FIG. 4 – *Exemple de relation de voisinage asymétrique*

Il est par ailleurs intéressant de remarquer que la portée de communication d'un terminal *n'a strictement aucune incidence* sur l'ensemble des terminaux qu'il détecte comme étant ses voisins. Comme le montre la figure 4, B ne détecterait pas A quand bien même B doublerait sa portée de communication. Si cela lui permet effectivement d'atteindre un plus grand nombre de terminaux, ce nombre lui reste partiellement inconnu puisqu'il dépend aussi des messages émis par les nœuds atteints. Ainsi, l'approche de détection par simple émission de messages de présence ne permet plus que de connaître les nœuds dont un terminal est à portée.

3.2 Définition des relations de voisinage

La dissymétrie de la relation de voisinage entraîne un flou dans la notion même de voisin. Comme nous l'avons remarqué auparavant, si deux terminaux peuvent toujours être considérés comme voisins, au sens de l'approche traditionnelle, il est également possible qu'un terminal reçoive des données d'un autre sans pour autant pouvoir lui répondre. Il est nécessaire de distinguer ces deux notions de voisinages pour pouvoir les détecter et s'y adapter par la suite. Nous donnons deux caractérisations de ces types de voisinages.

Voisin unilatéral Soient A et B deux terminaux. B est dit *voisin unilatéral* de A si et seulement si A est à portée de B (figure 4).

Voisins réciproques Deux terminaux A et B sont dits *voisins* ou encore *voisins réciproques* lorsqu'ils sont mutuellement voisins unilatéraux. Ils sont voisins au sens habituel.

Voisin unilatéral strict A est voisin unilatéral *strict* de B lorsque A est voisin unilatéral de B sans en être un voisin réciproque.

3.3 Mécanismes des relations de voisinage

3.3.1 Détection et amélioration d'une relation de voisinage

Nous avons vu que l'envoi d'un simple message de présence ne permet pas à un terminal d'opérer la distinction entre ses voisins unilatéraux et ses voisins réciproques. En fait, un terminal ne peut pas savoir *a priori* de quels nœuds il est voisin unilatéral strict puisque, par définition, ces derniers ne peuvent lui transmettre d'information. Il peut cependant détecter ses voisins réciproques. Pour cela, deux messages suffisent pour qu'un terminal A détecte un voisin réciproque B : un premier message de recherche est diffusé par A puis un acquittement est renvoyé par B. À ce stade, B a simplement identifié A comme un voisin unilatéral puisque A n'a pas signalé à B qu'il le recevait. Il suffit alors que A émette à nouveau un acquittement pour avertir B qu'il le reçoit. Cet échange est illustré sur la figure 5.

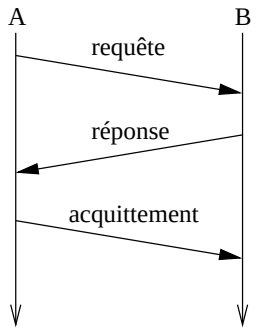

FIG. 5 – *Discrimination simple des voisins*

Les relations de voisinages sont amenées à évoluer en même temps que les terminaux se déplacent. Du point de vue d'un nœud en particulier, ces modifications du voisinage se manifestent comme l'apparition d'un nouveau voisin, les changements éventuels du type de

voisinage (unilatéral ou réciproque) ou, la disparition du voisin. Pour constater ces évolutions, il est nécessaire de réitérer régulièrement la procédure de découverte.

Un terminal A et son voisin unilatéral strict B peuvent se déplacer, volontairement ou non, de manière à ce que leur relation de voisinage s'améliore. A peut ainsi devenir voisin unilatéral de B, instituant ainsi une relation de voisinage réciproque. Ce phénomène peut être détecté simplement grâce à la méthode de découverte. En effet, lorsque B va se trouver à portée de A, il va recevoir son message de découverte. L'adresse de A sera alors insérée dans le prochain message de présence de B. Comme B est un voisin unilatéral de A, A remarquera que son adresse figure dans le message de présence et pourra en déduire qu'il est devenu voisin réciproque de B.

3.3.2 Dégradation et expiration d'une relation de voisinage

Deux terminaux peuvent, contrairement à la situation précédente, se déplacer de telle façon que leur relation de voisinage se dégrade. Ainsi, une relation réciproque peut dégénérer en relation unilatérale stricte. Dans cette situation, les deux terminaux ne peuvent plus communiquer que dans un seul sens et l'un des terminaux ne reçoit plus les messages de présence de l'autre. Il devra alors retirer l'adresse correspondante de son message de présence. L'autre terminal s'apercevra alors que son adresse a disparu et que la relation de voisinage s'est dégradée.

Ce processus de détection du voisinage fonctionne à ceci prêt qu'il faut spécifier à partir de quand un terminal considère qu'un de ses voisins a disparu. Cette difficulté est traditionnellement levée par l'emploi d'un délai de garde au-delà duquel le résultat de l'opération en cours est décidé (en général, par un échec). Il s'agit ensuite de fixer ce délai de garde en fonction des contraintes imposées. Cette technique ne saurait s'appliquer ici puisque chaque terminal reste libre d'adapter sa fréquence d'émission. De plus, l'emploi d'un délai de garde aboutit à un paramétrage redondant de la relation de voisinage, puisqu'elle repose déjà sur la fréquence d'émission des messages de présence. Il est, par conséquent, préférable que le fonctionnement du processus de sortie ne repose que sur les paramètres du processus d'entrée des voisins. Nous le spécifierons dans la prochaine partie du document.

3.4 Protocole de découverte

La méthode précédente est suffisante si un faible nombre de terminaux est en jeu. Lorsque la population augmente, le nombre de messages à échanger va lui aussi augmenter, mais de manière beaucoup importante. S'il faut trois messages à deux nœuds pour s'apercevoir de la réciprocité de leur voisinage, il en faudra neuf pour trois, car chaque terminal diffusera une requête de présence ainsi que les acquittements nécessaires. Plus générale-

ment, le nombre de messages ainsi échangés entre n voisins réciproques est de $n + 2 \cdot C_n^2$ ou C_n^2 vaut $n!/2(n-2)!$ et désigne le nombre de combinaisons de deux éléments parmi n. Après simplification, on s'aperçoit que le nombre de messages échangés est de n^2.

Pour éviter cette explosion du nombre de messages à échanger, il est possible de les regrouper dans un seul et même message. Plutôt que d'envisager, comme c'était le cas plus avant, des acquittements en point-à-point, il est plus judicieux de profiter de la diffusion des messages de présence. Ces derniers sont en effet reçus par tous les nœuds dont l'émetteur est voisin unilatéral. Il suffit aux terminaux d'inclure dans ces messages la liste des adresses des nœuds dont ils reçoivent eux-mêmes le signal de présence. Le nombre de messages ainsi échangés chute alors à $2n - 1$, comme illustré sur la figure 6. Le résumé suivant montre ce phénomène dans le cas de quatre voisins réciproques :

1. le terminal A envoie ( )
2. le terminal B envoie (A)
3. le terminal C envoie (A B)
4. le terminal D envoie (A B C)
5. le terminal A envoie (B C D)
6. le terminal B envoie (A C D)
7. le terminal C envoie (A B D)

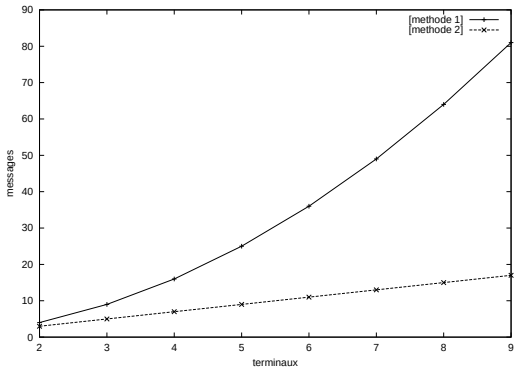

FIG. 6 – *Volume de messages*

Il est toutefois nécessaire de constater que si le nombre de messages émis diminue considérablement, leur taille augmente proportionnellement au nombre de voisins puisque leur liste est incluse dans le message. Ramenées au volume de données échangées, les deux méthodes donnent des résultats similaires en terme de complexité ($\mathcal{O}(n^2)$). La seconde

méthode l'emporte cependant parce qu'elle engendre une moindre émission de paquets réseaux. La consommation d'énergie, notamment avec IEEE 802.11b, augmente à la fois avec le nombre de paquets émis et avec le nombre de paquets reçus. Par ailleurs, l'émission d'un paquet entraîne un surcoût dû à la technologie de communication et aux protocoles réseaux utilisés.

Pour s'en convaincre, examinons le volume de données nécessaires à chacune des deux méthodes avec une technologie IEEE 802.11b. Une trame peut contenir jusqu'à 2346 octets, dont 34 octets sont réservés par l'entête MAC. À cela se rajoutent 20 octets dûs à l'utilisation du protocole IPv4 et encore 8 utilisés par UDP. Au total, 62 octets sont réservés sur une trame. La première méthode ne nécessite pas d'octet supplémentaire. Une émission en diffusion vaut pour une requête et une émission en point-à-point vaut pour un acquittement. La consommation de cette méthode est donc de $62n^2$ octets, où n est le nombre de terminaux. La seconde méthode émet des messages de taille variable, selon le nombre de voisins découverts. Avec au plus 572 nœuds, un message tient sur une seule trame. Les $n-1$ messages de taille croissante puis n messages de taille fixe sont envoyés. La consommation est donc de :

$$\begin{aligned} & \underbrace{62 + 66 + \cdots + (62 + 4(n-2))}_{n-1} + n(62 + 4(n-1)) \\ \text{soit} \quad & 62(n-1) + 2(n-1)(n-2) + n(62 + 4(n-1)) \\ \text{i.e.} \quad & 6n^2 + 114n - 58 \end{aligned}$$

La figure 7 montre l'évolution de la consommation des deux méthodes en fonction du nombre de nœuds. Les deux courbes évoluent effectivement selon une parabole, mais la seconde croît moins vite que la première.

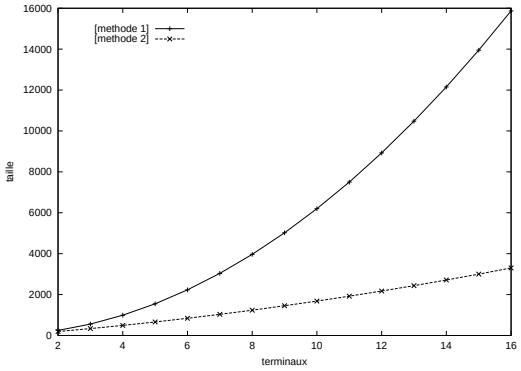

FIG. 7 – *Volume de données*

Il convient enfin de constater que la seconde méthode s'avère cependant moins réactive que la première car elle est subordonnée au rythme d'émission des messages de présence. Cela n'est pourtant aucunement pénalisant dans la mesure où un terminal émet des messages de présence *uniquement afin d'être détecté* par les autres. S'il tarde à envoyer son message, cela implique simplement qu'il sera pris en compte plus tard par ses voisins et ne nuira directement qu'à lui-même. C'est à chaque terminal que revient la responsabilité d'être détecté ou non.

3.5 Implantation système

Notre approche doit être implantée au niveau du système d'exploitation afin d'être proposée à toutes les applications. Le service est aussi accessible selon un mécanisme de type client/serveur. Une bibliothèque générique permet son utilisation indépendemment de la technique sous-jacente utilisée qui peut être par socket, mémoire partagée ou base de données légère (telles que les *microsoft property databases* disponibles sous Windows CE).

3.5.1 Côté serveur

Le serveur maintient la liste des nœuds dont le terminal est à portée de communication à partir des messages de présence reçus. Il émet par ailleurs les messages de présence à destination des autres terminaux à une fréquence spécifiée par l'utilisateur. Comme illustré sur la figure 8, chaque entrée de la liste est composée de quatre champs que sont l'*adresse* du nœud considéré, la *date* de la dernière réception d'un message de présence de sa part, sa *portée* de communication et enfin son *statut* (voisin unilatéral ou réciproque). Toute insertion, suppression ou modification de la table entraîne l'émission du message correspondant (`insert`, `delete`, `update`) aux clients.

3.5.2 Côté client

Les primitives `open` et `close` permettent aux clients de se connecter et de se déconnecter du serveur qui détient la représentation du voisinage. Les clients peuvent de plus accéder aux enregistrements de la table grâce à la primitive `read` et à l'adresse du nœud recherché.

3.6 Synthèse

Nous avons considéré des terminaux informatiques mobiles dotés d'une interface de communication sans fil et nous nous sommes focalisés sur le voisinage de ces terminaux, c'est-à-dire l'ensemble des terminaux à portée de communication. Après avoir constaté que

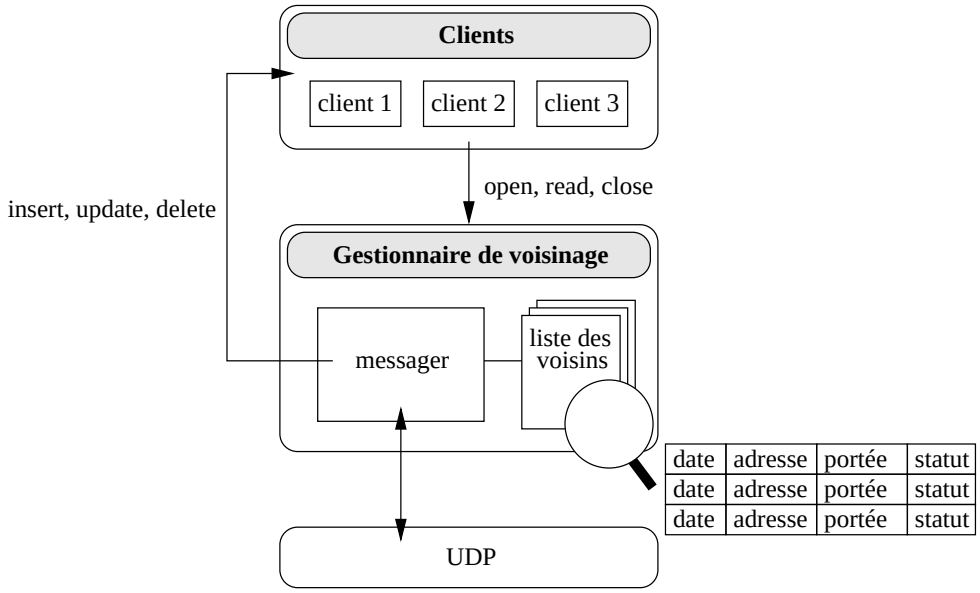

FIG. 8 – *Nouvelle implantation système*

ce voisinage évolue dans le temps en fonction des mouvements de chaque nœud, nous nous sommes intéressés à la manière dont le système d'exploitation peut représenter l'ensemble des voisins d'un terminal donné.

Notre approche envisage des terminaux de mobilité et de portée de communication différentes. Après avoir proposé une nouvelle définition, nous avons abouti à une nouvelle représentation du voisinage : le voisinage *réciproque*, ou classique, et le voisinage *unilatéral strict*, pour lequel la relation de voisinage n'existe que dans un sens.

Nous n'avons pas encore abordé la problème qui est de savoir à quelle fréquence les messages de présence doivent être émis par les terminaux. En effet, ces envois doivent être répétés dans le temps car la composition de voisinage évolue avec les déplacements des terminaux. Dans la partie suivante, nous proposons une méthode permettant de calculer automatiquement cette fréquence pour assurer représentation informatique fidèle du voisinage.

4 Cadencement automatique du mécanisme de découverte

Le processus de découverte du voisinage de terminaux mobiles communicants est un problème important dans le domaine des échanges d'informations entre nœuds physiquement proches. En effet, dans la mesure où les terminaux ne connaissent pas, *a priori*, l'existence des autres, ce mécanisme conditionne la possibilité ou non d'échanges ultérieurs.

L'ensemble des nœuds composant le voisinage d'un terminal donné est amené à évoluer dans le temps, notamment du fait de leur mobilité non contrainte et de leur portée de communication restreinte. Le mécanisme de découverte doit donc permettre de suivre cette évolution dans le temps en mettant à jour la représentation informatique du monde physique.

Le processus de découverte du voisinage repose sur l'envoi itéré de messages de présence par les terminaux. Notre objectif est de permettre le calcul et l'adaptation automatiques de la fréquence d'émission par le système d'exploitation en fonction des caractéristiques cinématiques et de la portée de communication des terminaux mis en jeu.

4.1 Démarche retenue

Nous commençons par mettre en évidence l'importance de la fréquence d'émission des messages de présence dans le fonctionnement du processus de découverte. Nous verrons qu'elle dépend à la fois de la mobilité du terminal considéré et de celle de ses voisins. Nous évoquons ensuite, en 4.3, une approche préliminaire simple qui ne sera pas retenue. Elle nous permettra, toutefois, de souligner les principales difficultés auxquelles notre proposition entend s'intéresser. Nous proposons alors une nouvelle modélisation permettant, à terme, de paramétrer le processus de découverte, indépendamment des terminaux. Nous développons enfin, dans la partie 4.5 notre proposition en détaillant sa mise en pratique au sein d'un service système.

4.2 Mise en évidence du rôle de la fréquence d'émission

Pour que les terminaux connaissent l'ensemble des nœuds à leur portée, il appartient à chacun d'eux de signaler sa présence. Plus encore, la mobilité non restreinte des entités informatiques considérées impose que ce signalement soit répété dans le temps puisque l'ensemble des terminaux à portée d'un nœud donné varie, non seulement en fonction de ses propres déplacements, mais aussi en fonction des mouvements des autres protagonistes. Ainsi de nouveaux terminaux peuvent apparaître dans le voisinage tandis que d'autres peuvent disparaître.

Dès lors, la difficulté est de décider quand un terminal doit envoyer un message signalant sa présence. De la fréquence à laquelle il émet ces messages va dépendre la fidélité de

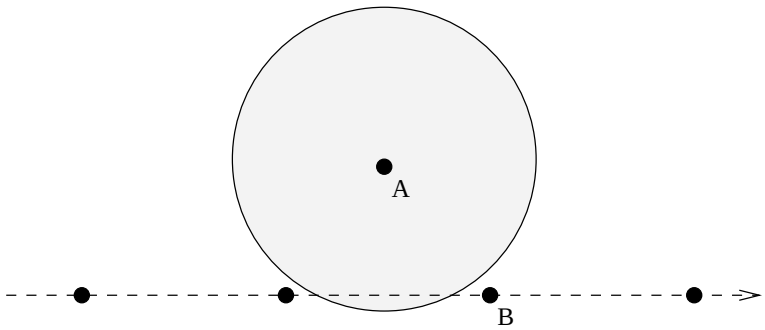

FIG. 9 – *Exemple de fréquence de signalement trop faible*

la représentation informatique du voisinage physique dont il dispose. S'il émet trop peu souvent, il ratera probablement des terminaux. S'il émet trop, il accordera un volume de ressources (énergie, bande passante, ...) trop important au service de découverte.

4.2.1 Fréquence d'émission trop faible

Lorsqu'un nœud émet des signaux de présence à une fréquence f, tout terminal à portée de ce dernier pendant une durée inférieure à la période $1/f$ peut ne pas recevoir le signal. Ainsi, une fréquence trop faible peut induire une forte dégradation au niveau de la cohérence de la représentation informatique du voisinage vis-à-vis de la situation réelle.

Ce phénomène est illustré sur la figure 9. Un terminal A émet des signaux de présence à une certaine fréquence. Un terminal B traverse la zone couverte par l'interface de communication de A. Les positions que B occupe lors de l'envoi d'un signal sont représentées par des points sur sa trajectoire. On constate que, s'il est pourtant à portée de A pendant un certain temps, il ne perçoit pas sa présence.

4.2.2 Fréquence d'émission trop importante

Une solution simple au problème précédent consisterait à émettre à la fréquence maximale admise par le débit proposé par l'interface de communication utilisée. Cela pose toutefois un triple problème.

Consommation excessive d'énergie Le premier problème soulevé est celui de la consommation énergétique et de l'autonomie des batteries embarquées dans le type de terminal considéré. En effet, émettre un message engendre la consommation d'énergie [1] et une telle émission risque de compromettre fortement la durée d'autonomie du terminal.

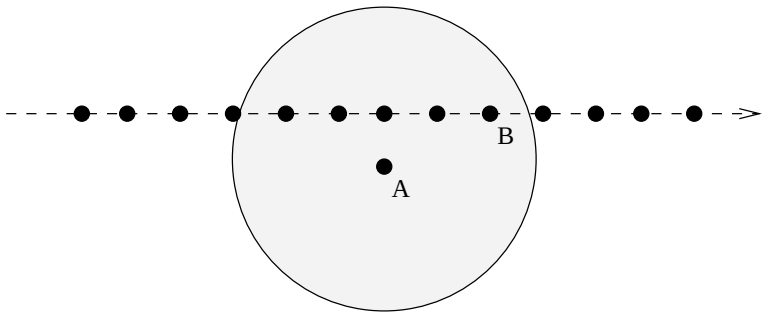

FIG. 10 – *Exemple de fréquence de signalement trop importante*

Consommation excessives de ressources Il convient, également, de bien garder à l'esprit qu'un nœud ne signale pas sa présence dans l'unique objectif de se signaler aux autres. Le mécanisme de signalement n'est mis en fonctionnement *que parce le terminal recherche ou propose un accès à certaines ressources*. Il faut donc de préserver assez de bande passante pour que des échanges ultérieurs puissent avoir lieu.

La figure 10 montre le cas d'une fréquence de signalement trop élevée. Ainsi, B reçoit le signalement de A de nombreuses fois.

4.2.3 Bilan

Pour être détecté, un terminal doit donc émettre suffisamment souvent pour que la représentation informatique reste correcte tout en émettant suffisamment peu afin d'économiser énergie et bande passante. C'est un compromis qu'il faut trouver entre l'efficacité du processus de signalement et le coût qu'il engendre en termes de ressources système.

4.3 Approche préliminaire

4.3.1 Principe

Une première approche pour traiter le problème de la fréquence d'émission consiste à proposer à l'utilisateur de prendre en charge le paramétrage. Il peut choisir, grâce au service de gestion du voisinage de son assistant personnel à quelle fréquence seront émis les messages de présence.

Par ailleurs, un processus de type "ramasse-miettes" doit être exécuté régulièrement afin de supprimer de la liste des voisins les terminaux dont la date du dernier message de

FIG. 11 – *Interface du service simple de gestion du voisinage*

présence est trop ancienne. Ce paramètre doit lui aussi être précisé ainsi que la fréquence de lancement de ce mécanisme de nettoyage.

4.3.2 Configuration du dispositif

La figure 11 présente une l'interface graphique permettant de configurer le service système de découverte développé sous Windows CE, dans le cadre des études Spread et Persend.

Trois paramètres sont disponibles pour régler le dispositif :

la période d'annonce (*announce period*) qui spécifie la durée entre deux émissions de messages de présence.

la période de nettoyage (*cleaner period*) qui donne la fréquence de lancement du "ramasse-miettes".

le délai de nettoyage (*cleaner delay*) qui précise la durée au delà de laquelle un nœud ne s'étant pas manifesté est considéré comme sorti du voisinage.

4.3.3 Avantages et limitations

Comme nous l'avons souligné précédemment, le voisinage d'un terminal dépend non seulement de la mobilité du terminal considéré mais *aussi* de celles de ses voisins. En effet, quand bien même le terminal ne se déplacerait pas, le contenu de son voisinage évoluerait en fonction des mouvements des autres terminaux, s'approchant ou s'éloignant de lui.

Le principal avantage de cette approche est qu'elle permet à l'utilisateur d'adapter le fonctionnement du processus de découverte en fonction des besoins des applications qui fonctionnent sur son assistant personnel.

Nous remarquons toutefois certaines limitations importantes de l'approche :

Approche empirique Il est relativement délicat pour l'utilisateur de connaître la réelle efficacité de son processus de découverte. Il peut, certes, par essais successifs, trouver une valeur de la fréquence suffisante pour les cas les plus courants, mais la méthode reste toutefois empirique.

Manque d'extensibilité Cette démarche ne s'avère viable que lors d'interactions avec des entités mobiles dont les caractéristiques des mouvements sont connues et varient peu. Elle souffre d'un manque de généricité évident, tant elle repose sur la nature des applications et des entités mobiles. Ceci est problématique dans la mesure où nous souhaitons proposer un service système le plus indépendant possible des applications qu'il supporte.

Manque de généricité Une infrastructure système indépendante des applications manque encore pour assurer la pérennité du mécanisme de découverte. En outre, si un lien entre mobilité, portée de communication et fréquence d'émission est avéré, une étude théorique permettant de le mettre en évidence de façon formelle fait toujours défaut.

4.4 Modélisation du problème

Nous proposons dans cette partie une modélisation cinématique du problème de calcul de la fréquence d'émission. Nous en déduisons une condition de détection d'un terminal par rapport à un autre. Nous étendons alors cette notion au voisinage tout entier. Enfin, nous mettons en place un paramètre pour nous affranchir de la portée propre à chaque nœud dans le calcul. Nous verrons que ce paramètre, sans unité, peut être fixé pour tous les terminaux. Nous montrons, enfin, comment les terminaux peuvent utiliser les paramètres précédemment établis pour obtenir la fréquence d'émission à adopter.

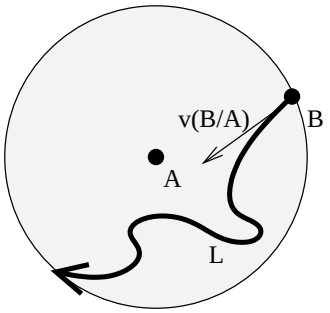

FIG. 12 – *Interprétation cinématique*

4.4.1 Représentation cinématique

Alors que les terminaux mobiles ne disposent pas directement de mesures caractérisant la durée de présence de leur voisins, ils peuvent avoir accès à des informations cinématiques telles que leur vitesse instantanée, par exemple. Une interprétation cinématique du problème de la fréquence de voisinage apparaît, par conséquent, compatible avec les contraintes pratiques.

Supposons deux terminaux A et B. Le nœud A émet des messages de présence à une fréquence f_A. Au lieu de caractériser la présence de B dans le voisinage de A par sa durée, nous allons la caractériser par la distance L qu'il parcourt. La figure 12 résume cette situation.

Nous rappelons que la vitesse relative d'un point B par rapport à un point A est en fait la vitesse de B mesurée dans un repère d'origine A. On la note $\overrightarrow{v_{B/A}}$. Cela revient à fixer une caméra sur le point A et de s'en servir pour observer et mesurer la vitesse de B. Cette notion est importante dans la mesure où nous nous plaçons dans le cas où tous les terminaux mobiles peuvent se déplacer en même temps. Il est donc important de définir précisément quel type de vitesse nous envisageons. Par ailleurs, nous notons $v_{B/A}$ l'intensité du vecteur vitesse.

4.4.2 Condition de détection

Suite à ce rappel de cinématique classique, nous introduisons à présent une grandeur préliminaire qui nous permettra de proposer une condition de détection. Cette grandeur correspond, en fait, à la distance minimale que doit parcourir un terminal B dans la zone de communication couverte par A pour être certain de détecter la présence de A.

Distance limite de détection On appelle *distance limite de détection de A par B* la grandeur $\frac{v_{B/A}}{f_A}$, notée $D_{B/A}$.

Nous rappelons que B détecte A s'il reste à sa portée pendant une durée supérieure à $1/f$, f étant la fréquence d'émission de A. La représentation cinématique de la situation donne la condition suffisante équivalente suivante :

> B détecte A s'il reste à portée de A sur une distance L supérieure à $D_{B/A}$, la distance limite de détection de A par B.

Cette proposition se note comme suit :

$$B \text{ détecte } A \text{ si } L > D_{B/A}$$

4.4.3 Extension de la condition au voisinage tout entier

La condition suffisante précédente n'est valable que pour le seul terminal B. Si l'on désire que cette condition soit valable pour tous les terminaux à portée de A, il est nécessaire de l'étendre. pour cela, nous introduisons deux nouvelles grandeurs :

Vitesse relative du voisinage On appelle *vitesse relative du voisinage* le maximum des vitesses relatives des voisins unilatéraux (voir 3.2) de A. On la note : $V_A = max(V_{C/A}), \forall C$ voisin unilatéral A.

Distance limite de détection On appelle *Distance limite de détection de A* la distance $D_A = V_A/f_A$.

4.4.4 Obtention d'un paramètre universel

La relation établie précédemment met en relation portée, vitesses et fréquence d'émission. Elle dépend toutefois encore du terminal considéré. Nous désirons obtenir une relation universelle, c'est-à-dire une relation que l'on pourrait appliquer quel que soit le nœud envisagé. Pour cela, nous introduisons une valeur sans unité mettant en rapport la distance limite de détection et la portée de communication du terminal.

ratio de détection On définit le ratio de détection R_A comme le rapport entre la distance limite de détection D_A et d_A la portée de communication du nœud.

$$R_A = \frac{D_A}{d_A}$$

Ce ratio établit une relation directe entre la portée de communication du terminal considéré et la distance que doivent parcourir les autres terminaux dans la zone de communication pour le détecter. Fixé à 10%, il signifie :

> *Tout terminal parcourant 10% de la portée du nœud considéré le détecte nécessairement.*

Il peut être fixé indépendamment pour chaque terminal. Toutefois, cela ne s'avère pas judicieux dans la mesure où cela nous ramenerait aux mêmes problèmes que ceux que nous avions évoqué lors de l'approche préliminaire en 4.3. En effet, ce ratio serait là encore fixé de manière empirique.

Notre approche consiste, au contraire, à fixer ce paramètre pour *tous* les terminaux et de mesurer, à l'aide de bancs d'essais, les performances du processus de découverte en fonction de ce dernier pour trouver une valeur optimale. Nous noterons donc R ce ratio par la suite. La condition précédente devient alors :

> *Tout terminal parcourant 10% de la portée de* n'importe quel nœud *le détecte nécessairement.*

4.4.5 Calcul automatique de la fréquence

En fonction de la valeur de R choisie, chaque terminal peut calculer dynamiquement la fréquence d'émission de ses messages de présence. Les calculs suivants illustrent ceci en repartant de l'équation de R :

$$R = \frac{D_A}{d_A}$$

$$\text{c'est-à-dire } R = \frac{V_A}{f_A \cdot d_A}$$

$$\text{soit encore } f_A = \frac{V_A}{R \cdot d_A}$$

Dans cette dernière équation, R est connu *a priori*. La portée du nœud, d_A, est elle aussi connue du terminal A. Enfin V_A, la vitesse relative maximale peut être est mesurée à la condition que chaque nœud connaisse et émette sa vitesse. Nous détaillerons ce calcul dans la partie suivante. La fréquence d'émission est donc parfaitement caractérisée.

4.5 Mécanisme de découverte à cadence automatique

Après avoir rappelé les hypothèses sur lesquelles notre approche repose, nous avons mis en évidence l'importance de la fréquence d'émission des messages de présence dans le processus de découverte.

Nous avons ensuite évoqué une première approche qui, si elle n'a pas été retenue, nous a permis de remarquer son manque d'extensibilité et de généricité. Pour combler ces lacunes, une modélisation cinématique a alors été proposée. Elle nous a permis d'établir une relation entre des grandeurs mesurables dans la pratique : portée de communication, mobilité et fréquence d'émission des messages.

Nous avons finalement obtenu un paramètre sans unité établissant un lien direct entre la portée des nœuds et la distance minimale à parcourir dans leur zone de communication pour les détecter. Une fois fixé, il doit permettre au processus de découverte d'adapter automatiquement la fréquence d'émission de ses messages de contrôle en fonction des mobilités constatées.

Pour mettre en pratique le mécanisme précédent, il est nécessaire de connaître les vitesses relatives entre les différents terminaux impliqués. Nous présentons ci-après différentes méthodes permettant de les évaluer.

4.5.1 Évaluation des mouvements à partir de la vitesse

Dans le cas le plus défavorable, les terminaux ne disposent pas de dispositif leur permettant de connaître des informations sur leurs mouvements. Une solution consiste alors à spécifier une valeur moyenne de leur vitesse en fonction de l'entité mobile les portant. Ainsi, un piéton peut fixer une vitesse moyenne à $1\ m/s$. Une automobile, quant à elle, peut fixer cette valeur à $40\ km/h$ lors des ses déplacements en agglomération.

Certains terminaux mobiles disposent toutefois aisément de la vitesse instantanée à laquelle ils se déplacent. Ainsi, les véhicules automobiles disposent d'un tachymètre intégré indiquant au conducteur la vitesse à laquelle le véhicule se déplace. Il est envisageable que cette vitesse soit transmise au système de communication, lui permettant de fonctionner à partir d'une valeur plus précise.

Dès lors, il est possible aux nœuds mobiles d'émettre leur vitesse dans les messages de présence, avec plus ou moins de précision.

À la réception d'un message de présence, la vitesse relative des deux terminaux mis en jeu peut être majorée par la somme des deux vitesses instantanées. Le calcul de la fréquence d'émission peut ainsi être réalisé.

L'ajout d'un compas à ce dispositif permet d'enrichir l'information transmise. En effet, en plus de la vitesse instantanée, la direction caractérise complètement le *vecteur* vitesse instantanée. Les deux vecteurs suivants sont ainsi disponibles :

– vitesse de A par rapport à la Terre : $\overrightarrow{v_{A/Terre}}$
– vitesse de B par rapport à la Terre : $\overrightarrow{v_{B/Terre}}$

La vitesse relative est alors obtenue par :

$$\overrightarrow{v_{B/A}} = \overrightarrow{v_{B/Terre}} - \overrightarrow{v_{A/Terre}}$$

Lorsque le vecteur vitesse est obtenu sous la forme du couple $(vitesse, direction)$, on obtient alors la vitesse d'éloignement des deux terminaux A et B par le thérorême de Pythagore :

$$V = \sqrt{(v_B \cdot cos\theta_B - v_A \cdot cos\theta_A)^2 + (v_B \cdot sin\theta_B - v_A \cdot sin\theta_A)^2}$$

4.5.2 Évaluation des mouvements à partir de la distance

Il n'est parfois possible que de mesurer la distance séparant deux terminaux. C'est par exemple le cas lorsque les terminaux utilisent un dispositif de localisation, tel qu'un récepteur GPS. D'autres technologies permettant d'obtenir directement la distance entre deux terminaux sans avoir recours à un système global peuvent aussi être envisagées. Un tel mécanisme reposant sur la différence de vitesses de propagation entre des ondes infrarouges et les ondes radioélectriques a été décrit dans [17].

Les informations cinématiques disponibles aux terminaux sont alors nettement plus riches que précédemment. La vitesse d'éloignement, c'est-à-dire, la vitesse relative de l'un par rapport à l'autre au signe près, est simple à calculer. En disposant de deux mesures d_i et d_{i+1} ainsi qui de la durée δ les séparant dans le temps, la vitesse s'obtient de la manière suivante :

$$v = \left| \frac{d_{i+1} - d_i}{\delta} \right|$$

De manière plus générale, il est possible d'estimer la vitesse moyenne d'éloignement entre deux terminaux à partir d'un nombre de mesures plus important. Cela peut être réalisé grâce à la technique des moindres carrés dont nous rappelons brièvement les grandes lignes.

On considère n points $p_i(t_i, d_i)$ pour lesquels t_i représente la date de la mesure et d_i, la distance entre les deux terminaux envisagés. L'objectif de la méthode des moindres carrés

est de réduire l'erreur entre la courbe C décrite par les points et la fonction F avec laquelle on désire faire l'approximation. Cette erreur vaut :

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{n} (d_i - F(t_i))^2$$

Pour une approximation à l'aide d'une droite d'équation $d = a \cdot t + b$, on obtient les solutions a et b en résolvant le système suivant :

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 0 \\ \\ \dfrac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

On obtient les résultats suivants :

$$\begin{cases} a = \dfrac{cov(t_i, d_i)}{var(t_i)} \\ \\ b = \overline{d_i} - a \cdot \overline{t_i} \end{cases}$$

La valeur de a donne la vitesse moyenne du mobile. Bien entendu, cette régression linéaire n'a de sens que si l'on suppose que l'ensemble des échantillons forme une droite, c'est-à-dire que, sur la période de temps considérée, les terminaux se déplacent en ligne droite. De plus, garder un historique trop important des distances n'a pas d'intérêt car il deviendra difficile d'en extraire la tendance du mouvement. Nous limitons donc la taille de cet historique grâce au coefficient de corrélation linéaire, qui indique la précision de la régression. Ainsi, lorsque le coefficient passe au dessous de 95%, nous supprimons la valeur la plus ancienne de l'historique.

4.5.3 Prédiction de voisinage à partir de la distance

Il est par ailleurs possible d'approcher d'autres mouvements que les mouvements linéaires dont nous venons de parler en modifiant la forme de la fonction d'approximation F. Les anamorphoses en sont un cas particulier. Une anamorphoses est une régression non linéaire qui peut, toutefois, s'y ramener par changement de variable. Cela revient à exprimer une anamorphose comme suit :

$$g(x, y) = c \cdot h(x, y) + d$$

Le changement de variables effectué, on applique la méthode des moindres carrés et on en déduit $a(c, d)$ et $b(c, d)$.

Nous envisageons ici des régressions curvilignes telles que la régression exponentielle, la régression logarithmique ou encore la régression puissance.

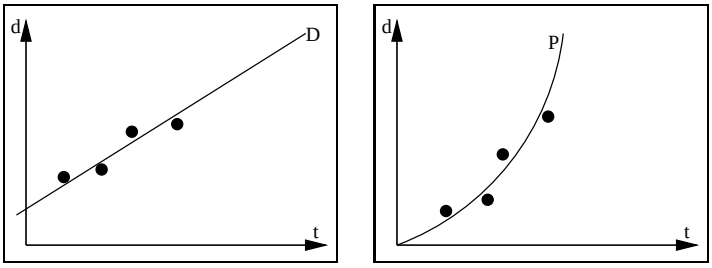

FIG. 13 – *Régressions linéaire et parabolique*

La régression logarithmique La régression logarithmique donne à la fonction d'approximation la forme $F(x) = c + d \cdot ln(x)$. En choisissant le changement de variable $(X, Y) = (ln(x), y)$, on se ramène au problème affine. Une fois a et b trouvées, on obtient c et d par $c = b$ et $d = a$.

La régression exponentielle La régression exponentionnelle donne la fonction d'approximation $F(x) = c \cdot e^{dx}$. En choisissant le changement de variable $(X, Y) = (x, ln(y))$, on se ramène au problème affine et on obtient c et d par $c = e^b$ et $d = a$.

La régression puissance La régression puissance donne la fonction d'approximation $F(x) = c \cdot x^d$. Le changement de variable $(X, Y) = (ln(x), ln(y))$ nous ramène au problème affine. On obtient c et d par $c = e^b$ et $d = a$. Cette régression est particulièrement intéressante lorsque les mouvements des terminaux sont des mouvements uniformément accélérés car la vitesse d'éloignement prend la forme d'une parabole $v = a \cdot t^2$.

La figure 13 montre l'approximation du nuage de mesures par une droite dans le cas d'un mouvement uniforme et par une parabole lors d'un mouvement uniformément accéléré.

Il est possible enfin d'avoir une indication sur la qualité de régression grâce au coefficient de correlation obtenu et de choisir ainsi la meilleure approximation.

L'intérêt de ces régressions est qu'elles peuvent permettre de mieux décrire le mouvement d'un terminal. En résolvant l'équation $t = F^{-1}(d)$ où d est la portée du terminal considéré, il lui est possible de prédire l'entrée imminente d'un autre nœud dans son voisinage. Cela lui permet de ne prendre uniquement en compte que les terminaux réellement proches pour calculer la fréquence d'émission des messages de découverte. Considérons par exemple une automobile et un piéton dont les portées de communication sont respectivement de 100 m et 10 m. Le piéton peut percevoir l'automobile sans que jamais celle-ci

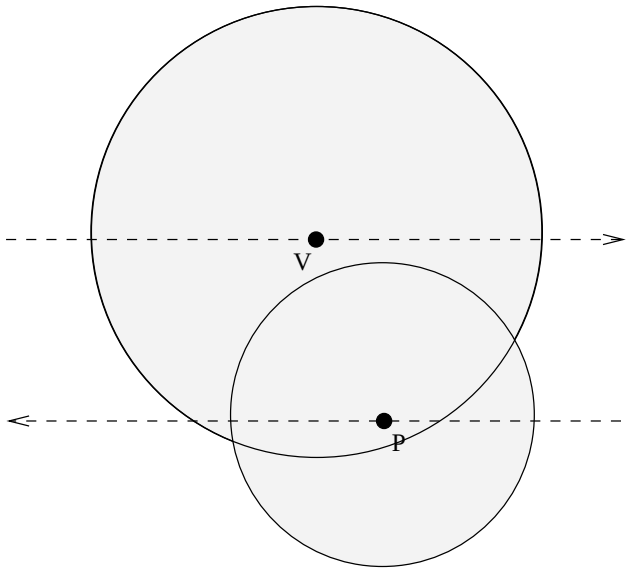

FIG. 14 – *Cas d'adaptation inutile de la fréquence*

ne passe à sa portée (voir figure 14). Le mécanisme précédent permet de détecter ce cas et de ne pas prendre en compte l'automobile dans le calcul de la fréquence. Ainsi, le piéton évite une augmentation inutile de sa fréquence d'émission et économise ainsi des ressources système et de l'énergie.

Dans la mesure où il devient possible de prévoir l'entrée d'un terminal dans le voisinage, il est légitime de s'interroger sur le bien fondé du mécanisme d'adaptation automatique de la fréquence d'émission. En effet, il suffirait théoriquement d'émettre à l'entrée des nœuds. Toutefois, cette approche ne saurait être retenue dans la mesure où les échanges sans fil souffre d'un forte instabilité, notamment aux limites des portées de communication, comme illustré dans [1]. La probabilité de perdre des messages n'est ainsi pas négligeable.

4.5.4 Limites de l'approche

Notre mécanisme d'adaptation dynamique de la fréquence souffre de certaines limitations qu'il nous faut évoquer ici.

Adaptation et relation de voisinage Il est important de remarquer ici une limitation de notre système de calcul de fréquence. En effet, pour qu'un terminal A reçoive des messages d'un terminal B, il est nécessaire que B soit un voisin unilatéral de A. Notre mécanisme

fonctionne donc si la portée de communication et la mobilité des nœuds augmentent parallèlement. Un terminal A plus rapide que B mais ayant une portée plus faible risque de ne pas le détecter. En effet, A n'aura pas pu être prévenu et ne pourra pas augmenter sa fréquence d'émission.

Nécessité d'un filtrage de plus haut niveau Un autre inconvénient est l'adaptation inutile de la fréquence d'émission dont nous avons parlé dans la partie précédente et que nous avons illustré par l'exemple de la voiture et du piéton. Si les vitesses sont les seules informations cinématiques disponibles, il n'est pas possible de vérifier que les nœuds seront réellement amenés à se rencontrer, c'est-à-dire, deviendront voisins réciproques. Le fait est que le cas le plus courant est justement celui où les vitesses respectives sont les seules disponibles. Cela ne doit toutefois pas nous empêcher de poursuivre nos travaux dans la mesure où, nous le rappelons, la détection ne saurait être une fin en soi. En effet, la détection est réalisée dans le but de déclencher des échanges ultérieurs. L'intégration de notre mécanisme dans un service de découverte d'intérêts communs tels que spread [3] ou persend [12] doit permettre de limiter l'adaptation de la fréquence d'émission aux seuls nœuds pertinents dans les échanges ultérieurs.

Cas limites Lorsqu'un terminal n'a aucun voisin unilatéral, il doit tout de même émettre des messages de présence s'il désire être détecté. Seule sa vitesse lui permet de définir la fréquence à employer. Toutefois, si ce terminal est une borne fixe, la fréquence résultante est nulle. Dès lors, il est nécessaire d'instaurer une fréquence minimale.

4.5.5 Implantation

Le fonctionnement du mécanisme est décrit par les procédures d'émission et de réception de message. L'émission de message est réalisé en interruption tandis que la réception est directement assujetties aux messages réseau.

Lors de la réception d'un message, la table de voisinage, c'est-à-dire la table locale représentant la liste des nœuds dont le terminal est à portée voisinage est mise à jour (algorithme 1). Les nouveaux nœuds y sont insérés et le type de voisinage des terminaux déjà présents est statué. Cela déclenche respectivement l'émission d'un signal `insert` et d'un signal `update` en direction des applications qui exploitent notre service.

Par ailleurs, la valeur de la fréquence d'émission est automatiquement calculée. Les algorithmes 2 et 3 présentent ce calcul selon que les caps sont disponibles dans le message ou non en plus des vitesses instantanées.

Algorithme 1 Mise-à-jour de la table de voisinage

```
précondition : message contient le message reçu
  v ← self.voisins.rechercher(message.id)
  si v = nil alors
    self.voisins.inserer(voisin(msg))
    signaler l'insertion
  sinon
    si message.voisins contient self.id alors
      reciproque ← VRAI
    sinon
      reciproque ← FAUX
    fin si
    v.vitesse ← msg.vitesse
    v.portee ← msg.portee
    v.date ← self.date
    si v.reciproque ≠ reciproque alors
      v.reciproque ← reciproque
      signaler la mise-à-jour
    fin si
  fin si
```

Algorithme 2 Calcul de la fréquence d'émission (vitesses seulement)

```
  v ← 0
  pour chaque voisin(self.voisins) faire
    si voisin.vitesse > v alors
      v ← voisin.vitesse
    fin si
  fin pour
  self.freq ← (v + self.vitesse) / self.R / self.portee
```

Algorithme 3 Calcul de la fréquence d'émission (vitesses et caps)

```
vx ← self.vitesse × cos(self.angle)
vy ← self.vitesse × sin(self.angle)
vr ← 0
pour chaque voisin(self.voisins) faire
   vv = (vx - voisin.vx)^2 + (vy - voisin.vy)^2
   si vv >vr alors
      vr ← vv
   fin si
fin pour
self.freq ← sqrt(vr) / self.R / self.portee
```

L'émission d'un message est ordonnancée et intervient comme une interruption. Son échéance est fixée en fonction de la fréquence calculée automatiquement lors de la réception. L'émission d'un message (algorithme 4) consiste à supprimer les terminaux qui ont apparemment disparus, émettre effectivement un message de présence en mode diffusion et fixer la nouvelle échéance.

Algorithme 4 Emission d'un message

```
supprimer les terminaux disparus
msg.id = self.id
msg.portée = self.portée
msg.vitesse = self.vitesse
pour chaque voisin(self.voisins) faire
   msg.voisins.inserer(voisin.id)
fin pour
emettre(msg)
fixer échéance à self.date + 1 / self.freq
```

Les terminaux dont le déplacement présumé depuis la date de leur dernier message est supérieur à leur portée sont supprimés, comme cela est illustré par l'algorithme 5. Un signal à l'attention des applications exploitant le service est alors émis.

Algorithme 5 Suppression des terminaux disparus

```
pour chaque voisin(self.voisins) faire
  si abs(self.vitesse-voisin.vitesse)×(self.date-voisin.date) > voisin.portee alors
    self.voisins.retirer(voisin)
    signaler la suppression
  fin si
fin pour
```

5 Conclusion et perspectives

Nous avons considéré dans cette étude, des terminaux informatiques mobiles dotés d'une interface de communication sans fil. Après avoir dressé la liste des principaux types de réseaux sans fil dans lesquels ces terminaux évoluent, nous nous sommes focalisés sur le voisinage de ces terminaux, c'est-à-dire l'ensemble des nœuds à portée de communication. Après avoir constaté que ce voisinage évolue dans le temps en fonction des mouvements de chaque nœud, nous nous sommes intéressés à la manière dont le système d'exploitation peut élaborer et mettre à jour une représentation de l'ensemble des voisins d'un terminal donné.

La détection des voisins est traditionnellement réalisée par le biais de messages de présence, émis régulièrement. Les terminaux considérés disposent de mobilité et de portée de communication différentes. Après avoir remarqué les ambiguïtés induites dans la relation de voisinage classique, nous avons proposé une nouvelle définition et avons abouti à une nouvelle représentation du voisinage : le voisinage *réciproque* et le voisinage *unilatéral strict*, pour lequel la relation de voisinage n'existe que dans un sens. Un mécanisme de détection du voisinage a ensuite été présenté. Il repose sur l'émission de messages de présence dans lesquels la liste des voisins unilatéraux est publiée, permettant ainsi de distinguer les différents types de voisinages.

Nous avons, en outre, montré qu'il existe un lien entre mobilité, portée de communication et fréquence d'émission des messages. En effet, il est nécessaire que chaque terminal adapte sa fréquence d'émission en fonction, non seulement, de sa mobilité mais aussi de celle de ses voisins unilatéraux s'il désire se signaler à eux. Pour cela, nous avons mis en avant un paramètre R, le *ratio de détection*, permettant l'élaboration d'une condition de détection universelle, c'est-à-dire indépendante de la portée des nœuds. Un processus d'adaptation automatique de la fréquence d'émission reposant sur ce paramètre et sur les informations cinématiques transmises dans les messages de présence a alors été proposé.

Des optimisations de ce processus nécessitant toutefois des informations cinématiques plus riches ont par ailleurs été évoquées.

L'obtention d'une valeur convenable de R ainsi que la mesure de son impact sur l'efficacité de notre approche restent à réaliser. Nous développons actuellement un simulateur orienté vers les interactions de proximité. Il nous permettra d'effectuer des bancs d'essai impliquant des terminaux de profils différents et de trouver une valeur de R optimale.

Références

[1] B. R. Badrinath and Sudame P. To send or not to send: Implementing deferred transmissions in mobile hosts. In *International Conference on Distributed Computing Systems*, pages 327–334, 1996.

[2] Stefano Basagni, Imrich Chlamtac, R. Violet Syrotiuk, and Barry A. Woodward. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 49–64, Dallas, TX, USA, October 1998.

[3] P. Couderc and M. Banâtre. Ambient computing applications: an experience with the SPREAD approach. In *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03)*, pages 291–299, January 2003.

[4] B. P. Crow, I. Widjaja, J. G. Kim, and P. T. Sakai. IEEE 802.11 Wireless Local Area Network. *IEEE Communications Magazine*, 35(9):116–126, September 1997.

[5] Laura Marie Feeney. A Taxonomy for Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks. Technical Report T99/07, Swedish Institute of Computer Science, Sweden, October 1999.

[6] David Gelernter. Generative communication in linda. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems*, 7(1):80–112, January 1985.

[7] J. Haartsen, M. Naghshineh, J. Inouye, O. Joeressen, and W. Allen. Bluetooth: Vision, Goals, and Architecture. *Mobile Computing and Communications Review*, 2(4):38–45, October 1998.

[8] R. Kalden, I. Meirick, and M. Meyer. Wireless Internet Access Based on GPRS. *IEEE Personal Communications*, 7(2):8–18, April 2000.

[9] Young-Bae Ko and Nitin H. Vaidya. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM)*, pages 49–64, Dallas, TX, USA, October 1998.

[10] M. Rahnema. Overview Of The GSM System and Protocol Architecture. *IEEE Communications Magazine*, 31(4):92–100, April 1993.

[11] William Wei-Lien Su. *Motion Prediction in Mobile/Wireless Networks*. PhD thesis, University of California, Los Angeles, CA, USA, 1999.

[12] D. Touzet, F. Weis, and M. Banâtre. PERSEND: Enabling Continuous Queries in Proximate Environments. In *Proceedings of the Workshop on Mobile and Ubiquitous Information Access*, pages 31–38, September 2003.

[13] Arnaud Troël, Frédéric Weis, and Michel Banâtre. Prise en compte du mouvement dans les systèmes de communication sans fil. Technical Report 1508, IRISA, January 2003.

[14] Arnaud Troël, Frédéric Weis, and Michel Banâtre. Représentation du voisinage physique dans les interactions de proximité. Technical Report 1551, IRISA, September 2003.

[15] R. Want, A. Hopper, V. Falcão, and J. Gibbons. The Active Badge Location System. *ACM Transactions on Information Systems*, 10:91–102, January 1992.

[16] R. Want, B. N. Schilit, N. I. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. R. Ellis, and M. Weiser. An Overview of the ParcTab Ubiquitous Computing Experiment. *IEEE Personal Communications*, 2(6):28–33, December 1995.

[17] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper. A new location technique for the active office. In *Proceedings of Mobicom'97*, September 1997. activeBat.

Unité de recherche INRIA Lorraine, Technopôle de Nancy-Brabois, Campus scientifi que,
615 rue du Jardin Botanique, BP 101, 54600 VILLERS LÈS NANCY
Unité de recherche INRIA Rennes, Irisa, Campus universitaire de Beaulieu, 35042 RENNES Cedex
Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes, 655, avenue de l'Europe, 38330 MONTBONNOT ST MARTIN
Unité de recherche INRIA Rocquencourt, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex
Unité de recherche INRIA Sophia-Antipolis, 2004 route des Lucioles, BP 93, 06902 SOPHIA-ANTIPOLIS Cedex

Éditeur
INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, BP 105, 78153 LE CHESNAY Cedex (France)
http://www.inria.fr
ISSN 0249-6399