

## 研究課題別評価

### 1 研究課題名:

Improvised Network: 自律的に再構成するモバイルネットワーク

### 2 研究者氏名: 西尾 信彦

ポスドク研究員: Gaute Lambertsen (研究期間 H.15.4 ~ H.17.3)

### 3 研究の狙い:

本研究では来るべきポスト PC 時代に向けて、情報通信機能を備えたデバイスが人や自動車などに付随して広域に分散しているような環境を想定して、そこでの新しい形のアプリケーションの構築を可能にする基盤ソフトウェアの提供を目標とする。本研究が想定する典型的なアプリケーションとしてはコンテキストウェアアプリケーションやセンサネットワークを用いた広域環境情報観測などで、より具体的にはショッピング情報配信から地雷搜索までを稼働させることを想定している。このために、大量に情報通信ノードが分散した状況で、常に適切なノードを動的に選択して参加させた即興的な(improvised)ネットワークの構築を提案する。この実現のためには各ノードが自律的に自己の状況を認識するとともに、それに動的に適応した挙動をとり、かつ他のノードと各自の持つ最新情報の授受を適宜行うことによりネットワークシステム全体としての適応活動を持続しなければならない。本研究では特に各ノードの位置などの状況情報を用いた動的なネットワークの再構成機構を与えることによって通信の効率化と作業の最適化を目的とする。具体的な研究アプローチとしては、(1)各ノードの自律的な制御手法を理論的に解析するとともにシミュレーションにより大量ノードの振舞いを解析する手法と、(2)想定に相応しい実機を用いての実証実験による手法の双方を併用する。

### 4 研究成果:

上記の2つのアプローチに沿って研究は進められた。以下にそれぞれについて得ることのできた研究成果について述べる。

#### 4.1 理論的手法による自律的ノード協調処理機構

本機構については位置情報処理機構である GOMASHIO の設計およびシミュレータ開発と評価より開始し、その後、研究対象をノードの移動パターンを意図的移動と非意図的移動に分けそのそれぞれについて研究開発を行なった。本研究において時々移動するノードの位置情報把握は重要な課題であり、GOMASHIO は少数のランドマークとなるノードとの相対的な位置関係を自律的に算出する位置情報取得機構である。その後、研究着手した位置意図的移動とは各ノードがアプリケーションの目的に沿うように移動を行なう場合で、引力・斥力モデルを提案しそのシミュレーションを実装し評価した。各ノードがアプリケーションの意図とは無関係に移動する環境はよりチャレンジングであり、またより本研究の目的に合致している。ここではまず動的かつ自律的にクラスタを構成する手法を研究開発し、シミュレーションによりその構成および維持に関し評価した。また研究期間の後半では、そのクラスタを効率的に利用することによってノード間協調を促進し通信量を効率化することによる省電力化を図るクラスタ内処理の設計およびシミュレータによる実装評価を行なった。さらに、本クラスタ構成機構についてはシミュレーションだけではなくその挙動に関し理論的解析を行ない性能の限界や実環境に適応する場合のノード数などの適正な数を想定することが可能になった。

#### 4.2 ユビキタスシステムにおける実機実行環境

本研究では多くの人々や車などが無線通信機能を有する携帯デバイスを持ち歩く環境を想定しており、そのような環境は今後のユビキタス社会の振興によりますます広まっていくと考えられる。そのため、シミュレーションや理論的な解析だけにとどめず想定環境に近い形での実機による研

究開発評価が必須となる。本成果は実機環境の充実に関するもので、まず最初に着手したのは想定するような大量ノードをそのまま利用するのではなく N ノードのうち 1 ノードのみ実機で N-1 ノードはシミュレータ上で実行する環境を実現する N-1 ネットワークシミュレーション を設計し開発評価した。続いて全ノードを実機で実装するのであるが、そのスケールを空間的にも時間的に適応可能にする Multi-Hop on Table-Top 環境を設計、実装し 1 にて研究開発されていた動的クラスタ機構をその上で実装し動作、性能評価を行なった。

## 5 自己評価:

研究提案時期には日本ではほとんど研究されていなかったセンサネットワーク技術を取りあげ日本が得意とするユビキタスコンピューティングに適用するという試みは現在では多くの研究者がとりくんでいるトピックであり、本研究は先見的な研究として見るができると思われる。センサネットワーク技術では米国や現在の日本でも多くが現実の温度や湿度、加速度などといったセンサ機器を用いたアプリケーションを構築しようとしていて、そのため適用範囲が戦場や農場、工場などかなり限られた環境でのものに限定される傾向がある。しかし、本研究ではそれよりも高次の情報、例えば街中で探している店舗や駐車場といった目的地に近づいたという情報に対してのセンシング技術という意味で活用することを提案してきたために、より現実的で応用範囲の広い研究に広げていくことができたと自負している。

3 ヶ年度にわたる研究期間において最も成功したと自己評価しているのは、当初よりシミュレーションや理論的解析のみではなく実機による実装評価を行なうという構想がほぼ達成できたという点である。当初、大量ノードによる実機評価は世界でもあまり例がなく、米国においてはその実験を行なうだけでも大々的に取り上げられる。それだけ物量や人的資源が必要であり軍事實験などの例がある。その意味でも本研究の成果である Multi-Hop on Table-Top 環境は比較的容易に実機環境でリアルコードが実証できるという意味で意義が大きいと考えている。本環境は単にそれだけで利用するものではなく実際に本研究で研究開発された動的かつ自律的クラスタリングプロトコルをその環境上で稼動することにも成功しており、同環境の完成度も高いものであると評価している。国際学会での成果発表でも注目を浴び、その後も海外の研究者から教材として利用したいとの申し出を受けている。その一方、N-1 ネットワークシミュレーションも国際学会では高い注目を浴びたものの、高価ではあるが類似の市販品があることがわかり、我々は開発を市販品がとり扱っていない無線移動ノードのサポートにしぼって行なった。

研究開発された自律的ノード協調処理機構には近年の研究動向に関しての萌芽的な研究があった。位置情報処理機構である GOMASHIO はその後、京都大学(ATR)や九州大学の研究者により SOM(Self-Organizing Map)的な手法による位置情報システムへと発展している。引力・斥力モデルについては直接には我々の研究対象ではない意図的移動をフォーカスしていたため時間や資源の関係で発展させなかったが、今後もまだ魅力的な応用範囲をもっており、その意味でもまだ研究課題を残しているといえる。

最後に動的な自律的クラスタリングプロトコルの研究開発についてもまだ基礎的な構成機構とデータ集約機構の研究開発が行なえた程度であり、このクラスタ機構を用いての属性ベースルーティングなど研究提案時に掲げた目標からは残念ながらまだ課題を残している。とはいえ、これより先の課題は一般的なあらゆるアプリケーションに適用可能な汎用の手法は存在しえないため、今後は特定のアプリケーションを想定しなければならない。その意味では、本研究に続くポストプロジェクトとしていくつか有望な研究活動を開始している。まず、特定アプリケーションとして、街中の防犯ネットワークシステムの構築を選び、その中でも近年多くの問題を憂慮される登下校時の学童見守りシステムを構築する研究プロジェクト(西大津における産学民による地域防犯システム、2004 年 11 月に記者発表、その後実証実験を実施中)を始めている。さらに、街中の人々をつなぐユビキタスシステム構築のために自動販売機を用いたインフラネットワークと人々の携帯する移動端末の構成するアドホックネットワークからなるハイブリッドネットワークを構築する研究プロジェ

クト(大阪府企画室ほかとの共同プロジェクトで「u-シティ構想」と呼ばれ、2004 年 11 月に記者発表)を開始している。ここでは3年間の研究成果をさらに発展させたインフラネットワークとのハイブリッド環境を想定した技術開発を行っており、今後の街中ユビキタス環境の現出に重要な役割をもつと期待している。

本研究事業のポスドク参加型についてであるが、我々は当初ポスドクの人材獲得にかなり苦労した。理由は、様々にあった(時期の問題、他のポストなど多くの確定者からキャンセルされた)が我々の研究分野においては身分が継続的に保証されないポスドクには有能な人材があまり興味をもってくれないという点があったと思う。それをカバーする意味でも我々は海外の著名な研究者に声をかけポスドクを広範に募ったが、逆に海外からは我々の提供できる環境が(米国のそれと比較すると)魅力のあるものであったとはいいがたくやはり苦戦した。しかし、ひとたび人材さえ獲得できれば、本研究事業に参加できたポスドクにはその研究キャリア(少なくとも我が国においては)にはその実績面に関しても運営面に関しても申し分のない機会を与えうるものであると思う。多くの大学から助手ポストが有期に変わりつつある近年ではポスドクはさらにその重要度を増すものとするが、実質的な魅力を増す努力がまだまだ必要であるとする。その意味でも研究期間が今期より年度末まで延長可能になったことは多いに評価できると思う。

#### 6 研究総括の見解:

自律的に移動体ノード間に形成されるモバイルネットワークは、これからのユビキタス情報社会の一つの有力な技術である。本研究では、動的且つ自律的にクラスタを形成する自律ノード協調処理機構について理論的な解析とシミュレーションにより評価と性能の限界を明らかにした。続いて実機によるクラスタ形成をテーブルトップで実証したことは高く評価される。本研究の成果の上にたって、すでにその実用性に着目した複数の地域連携・産学連携プロジェクトがスタートしていてその将来性に関しても特筆に値する。今後、実用化のための情報工学的問題の解決と同時に、他の手法との比較評価を深化させることにより独自性と有用性が確立され则认为られる。

#### 7 主な論文等:

- [1] G. Lambertsen, Y. Enokibori, K. Takeda, K. Tani, K. Shuto, N. Nishio: "Multi-Hop on Table-Top: A Scalable Evaluation Workbench for Wireless Ad-Hoc/Sensor Network Systems," The Sixth International Conference on Ubiquitous Computing 2004, 2004/9/7-10, UK
- [2] G. Lambertsen and N. Nishio: "Clustering Techniques for Cooperative Processing with Support for Unintentional Movement in Dynamic Sensor Networks", 情報処理学会 SACSIS2004 - 先進的計算基盤システムシンポジウム, 2004/5/26-28.
- [3] G. Lambertsen and N. Nishio: "Dynamic Clustering Techniques in Sensor Networks", ソフトウェア科学会ソフトウェアシステム研究会, 第7回プログラミングおよび応用システムに関するワークショップ(SPA2004), 2004/3/1-3.
- [4] 永田智大, 西尾信彦, 徳田英幸: "サービス利用状況の変化に対する適応支援機構", 情報処理学会 論文誌, 2003/3, Vol. 44, No. 3, pp. 835-847, 2003.
- [5] 岩井将行, 中澤仁, 西尾信彦, 徳田英幸: "分散コンポーネントによる即興的アプリケーション構成機構の実現", 情報処理学会論文誌「システムソフトウェアの新しい潮流」特集号, 2002/6, Vol. 43, No. 6, pp. 1664-1676, 2002.

他に口頭発表43