



無線 LAN

3. 移動計算機環境におけるアプリケーションとオペレーティング・システム支援†

中島達夫†† 保木本晃弘††

1. はじめに

現在、移動電話やポケットベルのような、あらゆる場所から使用可能な情報サービスが爆発的に普及しつつある。高校生は友人との連絡にポケットベルを用い、ビジネスマンは出先での迅速な連絡のため携帯電話を用いている。このようなサービスが分散計算環境内に組み込まれれば、無限のアプリケーションを可能にすると考えられる。実際、コンピュータのサイズの縮小化と無線ネットワークの発達により、これらは夢ではなく現実のものとなりつつある。このような、小型計算機ネットワークを用いて接続し、分散環境と融合した計算機環境は移動計算機環境 (Mobile Computing Environment) と呼ばれる^{2),4)}。

移動計算機環境では、アプリケーションを、メモリのサイズ、バッテリーの量、ネットワークのバンド幅などの制約を考慮して実行しなければならない。そのため、オペレーティング・システムのリソース管理ポリシーや構造を、アプリケーションの特徴にあわせて最適なものに変更可能にし、リソースを有効利用する必要がある。これは、オペレーティング・システム研究に対して新たな問題を提起する。

本稿では、移動計算機環境を構築するためのアプリケーションについて解説し、そのためのオペレーティング・システムの問題点、及び、今後重要となる研究項目についてふれる。最後に、われわれのグループにおける研究について簡単に紹介する。

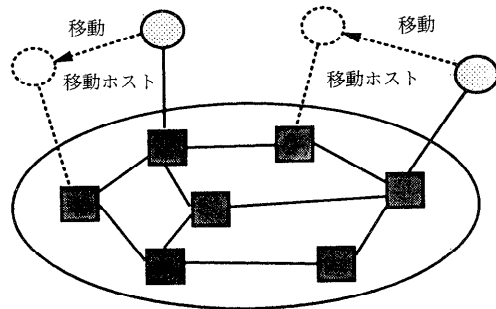
2. 移動計算機環境におけるアプリケーション

移動計算機環境は、図-1のように、移動コンピュータを無線ネットワークを用いて分散環境と接続したものである。分散環境内の計算機は高速の光ファイバなどを用いた専用線により相互に接続され、移動コンピュータに対してさまざまなサービスを提供する。本章では、このような移動計算機環境におけるアプリケーションについて紹介する。

移動計算機環境において、現在有効と考えることが可能なアプリケーションは、情報ブラウジング、個人通信、グループ間通信、データ入力の4つのクラスに分類される⁴⁾。

情報ブラウジングは、本、雑誌、新聞などの情報の検索をハイテキストなどの形で移動ユーザに提供する。ユーザは最新の情報をいつでも自分の移動計算機から検索することができる。たとえば、旅行中のレストランガイドや観光ポイントなどを必要なときに検索することが可能になる。

個人通信は、移動計算機上での電子メールやFAXの送受信を提供する。これにより、ユーザは重要な電子メールやFAXをどこにいても受けとることができる。また、電話、ポケットベルな



固定ネットワークと固定ホスト

図-1 移動計算機環境

† Applications and Operating System Supports for Mobile Computing by Tatsuo NAKAJIMA and Akihiro HOKIMOTO (Japan Advanced Institute of Science and Technology).

†† 北陸先端科学技術大学院大学

どもこのクラスのアプリケーションに属する。しかし、計算機を用いることにより、データ蓄積や検索などの付加価値が生じる。

グループ通信は、分散電子黒板や対戦型ゲームなどのアプリケーションが含まれる。分散電子黒板は、地理的にはなれた数人のグループによる協調作業を一つの仮想的な黒板を共有することにより実現する。また、遠隔会議システムなどもこのクラスに含まれる。

最後に、データ入力、外界の情報をさまざまな場所から獲得し、それをデータを管理するサーバに転送する。たとえば、移動計算機を用いて獲得した各地の植物の生息に関する情報を中央のサービスシステムに送り分析する場合などがこのクラスのアプリケーションに属する。

現在、オリベッティ研究所の Active Badge Location Service やゼロックス PARC の Ubiquitous Computing などを開発しているグループでは、移動計算機の有効性を示すプロトタイプを実際に作成している。

われわれの研究グループで開発を進めているアプリケーションの一つに、移動対話型ラジオと呼んでいるものがある。これは、ニュース、天気予報、観光案内などの音声情報を、ユーザが必要ときに聞くことができる環境を提供するアプリケーションである。通常の検索システムでは、視覚化を重視しているが、移動対話型ラジオでは、情報を視覚化する必要がないので、限られたユーザインタフェースしか提供できない移動計算機上のアプリケーションの典型的な一つになると考えられる。

3. 移動計算機環境実現のための問題点

移動計算機環境を実現するためには、さまざまな問題点を解決する必要がある^{1),2),4),7)}。本章では、このうち、特にオペレーティング・システムに関する問題点について紹介する。

計算機を移動可能にするためには、計算機自体のサイズを小さくする必要がある。それは、メモリ量、バッテリー、CPU スピード、ディスクサイズ、ディスプレイなど、さまざまなハードウェア・コンポーネントに対し制約を課す。移動計算機のためのオペレーティング・システムは、このような制約内でアプリケーションを実行するた

め、アプリケーションの性質を利用して最適なリソース管理を行い、限られた制約内で最大の性能が得られるようにする必要がある。

たとえば、従来のオペレーティング・システムでは、ディスクのスループット向上が重要な課題であったが、移動計算機環境では電力を節約しバッテリーでの長時間利用を可能にするほうがより重要な問題となる。そのため、できるかぎりデータをメモリ中に圧縮して保存し、ディスクをアクセスしないようにするポリシのほうが好ましい。

また、移動計算機に接続された無線ネットワークのバンド幅は通常のローカルネットワークと比較して狭く、転送速度も遅くなっている。そのため、要求をまとめて送ることによりデータ転送の回数を少なくするなどの工夫が必要となる。特に、データ送信は電力を消費するためデータ転送を少なくすることは、バッテリー節約の上でも必要である。

移動計算機環境では、移動計算機を接続したネットワークの遅延時間やエラー率が時間とともに変化する。その際、移動計算機がネットワークから一時的に切断することがある。現在のホスト移動透過なプロトコル²⁾は、論理的に透過な計算機の移動をサポートしているが、ネットワークからの一時的な切断やバンド幅、遅延の急激な変化に対し、上位のプロトコルに対し透過な環境を提供できていない¹⁾。たとえば、現在の TCP で用いられている輻輳制御のための適応型アルゴリズムは、バックオフを用いてタイムアウトの時間をしだいに長くしている。そのため、一時的な切断が発生すると次のタイムアウトによりパケットが再送されるまで次のパケットが送信されず、大きな遅延を生じる可能性がある。

最後の問題は、リソースやユーザの位置サービス、認証サービスなどの移動コンピュータをサポートするサービスの提供である。移動計算機環境では、リソースやユーザの位置が時間とともに変化するので、その現在位置を探し出すサービスが重要となる。これは、オペレーティング・システムのサービスとしても非常に重要である。つまり、リソースが現在どこにあるのかを知ることにより、リソースの割当てを効率良く決定できる。また、大規模なシステムでは、一貫した位置情報を提供することはコストが大きくなるので、不確

実な情報を用いても最終的に問題なくアプリケーションが実行できるようなアルゴリズムを提供する必要がある。

移動計算機が、そのようなサービスをアクセスする際、移動計算機の認証問題やデータの暗号化の問題は深刻になる。つまり、他人になりすましたり、無線ネットワーク中のデータを盗聴されないように、認証や暗号化を支援するためのサービスが提供されている必要がある⁶⁾。

4. 移動計算機環境のためのオペレーティング・システムサポート

前章の問題点を解決するためには、オペレーティング・システムの構造化と移動計算機をサポートするサービスを提供するための枠組の開発が非常に重要なものとなる。これらの問題点を解決する手段として、オペレーティング・システムはアプリケーションの特徴に合わせて柔軟に対処する必要がある。本章では、アプリケーションの特徴に合わせたオペレーティング・システムを構築するための三つの技術について紹介する。

4.1 マイクロカーネル

UNIX などの従来の単層 (Monolithic) な構造に基づくオペレーティング・システムでは、ファイルシステムやネットワークシステムなどのオペレーティング・システム機能はカーネル内に実現され、それらを変更することは大変困難であった。しかし、移動計算機環境では、アプリケーションに適したオペレーティング・システムを提供しなければならないので、ネットワークやファイルシステムを容易に変更できることが重要となる。また、単層構造のオペレーティング・システムでは、メモリスペースを節約するため不必要なモジュールを削除することも困難である。

Real-Time Mach^{5), 6)}などのマイクロカーネルに基づいたオペレーティング・システムでは、カーネルは、アドレススペース、スレッド、プロセス間通信、デバイス管理などの基本的な機能のみを提供し、それ以外のファイルシステムやネットワークシステムなどの高レベルな機能は、ユーザーレベルのアプリケーションとして実現されている(図-2)。そのため、マイクロカーネルに基づくオペレーティング・システムでは、単層構造のオペレーティング・システムでは実現が困難であった

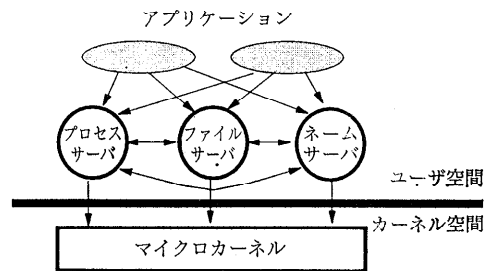


図-2 マイクロカーネル

アプリケーションに依存した規模のシステムの構築やアプリケーションに適したリソース管理ポリシーの選択やモジュールの最適化を行うための基盤を提供する。

また、移動計算機環境では、認証機構、リソースやユーザの位置検索サービスなどの新しいサービスが提供される。これらも、マイクロカーネル上に構築することで開発コストを小さくしたりアプリケーションの特性による最適化を容易に行うことが可能となる。

4.2 細粒度の構造化の必要性

マイクロカーネルに基づくオペレーティング・システムは、アプリケーションに適したオペレーティング・システムを構築するための基盤として非常に優れた可能性を提供している。しかし、実際には、アプリケーションに合わせて最適化したオペレーティング・システムを構築するための強力な枠組なしには、その実現は困難である。

移動計算機環境におけるアプリケーションは、図-3に示すように、アプリケーションとオペレーティング・システムの一部を同一アドレススペースに置いたものになると考えられる。この

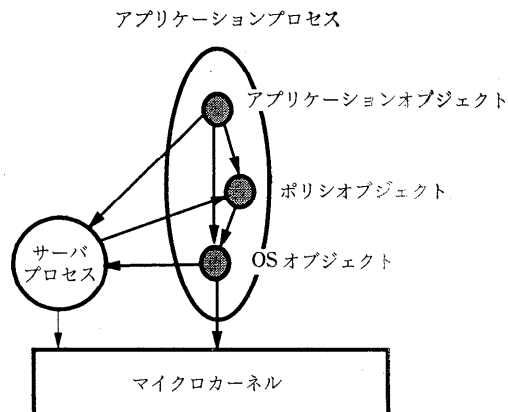


図-3 細粒度の構造化を用いたアプリケーション

方式は、メモリスペースや効率をオペレーティング・システムの保護などよりも重視する移動計算機環境に適している。アプリケーションやオペレーティング・システムの各モジュールはデータとそれをアクセスする操作をカプセル化した細粒度のオブジェクトとして定義される。オペレーティング・システムを構成するオブジェクトのうち、他のアプリケーションから共有されるデータをもっていないオブジェクトはアプリケーションと同一のアドレススペースに置かれる。このような細粒度の構造化は、従来のオペレーティング・システムが提供する大きな粒度の構造化を用いた場合と異なり、アプリケーションの要求により柔軟に対処することが可能となる。

このアプローチは、リソース管理ポリシーやオペレーティング・システムの各モジュールをアプリケーションの特性に合わせて最適化することを可能にする³⁾。また、複数のアプリケーションを同一アドレススペース内に置きメモリスペースやオペレーティング・システムとの通信コストを小さくしたり、いくつかのアプリケーションのオブジェクトを同一アドレススペース内で融合し、メモリアクセスの回数を減らす最適化、キャッシュミスや TLB ミスが最小となるプログラムやデータのアドレススペース上での配置やメモリ割当てを行うことを可能にする。これは、アプリケーションと同一アドレススペース内に置かれたオペレーティング・システムモジュールに対しても同様であり、オペレーティング・システムでのメモリアクセスの局所性の低さを改善する可能性をもつ。これにより、移動計算機のような資源が限られた計算機環境における資源管理の問題を解決することができる。と考える。

4.3 適応的な分散サービス

3.で述べたように、現在のホスト透過性を実現するプロトコルの上に TCP などの高信頼性データ転送を提供するプロトコルを用いる場合、効率に関するいくつかの問題を生じた。これは、時間とともに移動するような計算機により生じるトラフィックを現在のトランスポート・プロトコルは考慮していないからである。

この問題を解決するため、われわれのアプローチでは、アプリケーション・レベルのゲートウェイを導入する。われわれは、これをサービス・プ

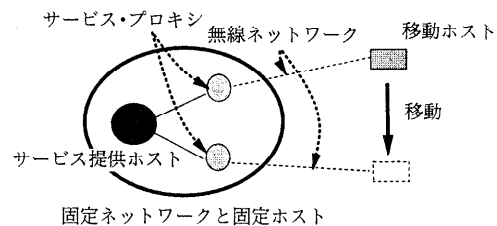


図-4 移動計算機環境におけるサービスの構造

ロキシと呼ぶ。サービス・プロキシは、移動計算機を無線ネットワークで接続した部分とサーバとサービス・プロキシを接続した二つの部分に分ける(図-4)。サーバとサービス・プロキシ間のパケット転送には参考文献7)で提案されているVIPなどのホスト位置透過なプロトコルの上でTCPやUDPを用いる。しかし、サービス・プロキシと移動計算機間の無線ネットワーク上では、アプリケーションに依存したプロトコルが用いられる。また、サービス・プロキシは、無線ネットワークの帯域幅が狭いときにはデータ圧縮などのデータ変換を行ったり、必要に応じてデータの先読みやキャッシングを行う。

図-4で示すように、移動計算機環境では移動計算機の位置の移動とともに接続されるネットワークが変化する。サービス・プロキシは定期的にブロードキャスト・メッセージを送り、そのメッセージを移動計算機が受けとったとき、それを送ったサービス・プロキシが異なるなら、接続するサービス・プロキシを変更する。そのとき、サービス・プロキシは、サーバと以前接続されていたサービス・プロキシに移動計算機が管理するサービス・プロキシが変更されたことを伝える。これにより、バンド幅が狭い無線ネットワークをアプリケーションが転送するデータの性質に合わせてサービス・プロキシにおいて変換することにより有効利用することが可能となると考える。

5. おわりに

本稿では、移動計算機環境の有効性とその上のアプリケーション、及び、必要とされるオペレーティング・システムサポートについて紹介した。移動計算機環境は、従来になかったさまざまな新しい課題の解決をオペレーティング・システムに要求する。われわれは、特に、マイクロカーネルに基づくオペレーティング・システム構成法、細

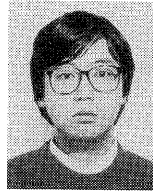
粒度の構造化支援の必要性、及び、移動計算機環境のためのサービスの構造化の重要性を示した。

われわれは、現在、リアルタイムマイクロカーネルである Real-Time Mach^{5),8)}を基にした移動計算機環境を構築中である。われわれの環境は、Unix 環境とは異なる独自のファイルシステムやネットワークシステムをもっていて、それらを異なるサーバとして実現することにより、システムの規模をアプリケーションの特性に合わせて再構成することができる。しかし、現在の実装⁹⁾は組み込みシステムや小型の計算機上の使用が目的であり、無線ネットワークなどのさまざまな環境に適応するための機能は提供していない。われわれは、この環境を細粒度の構造化を支援する枠組³⁾を用いて再実装している。また、その上に、移動対話型ラジオなどのアプリケーションの作成も行っている。

参考文献

- 1) Cáceres, R. and Ifode, L.: The Effects of Mobility on Reliable Transport Protocols, Matsushita Information Technology Laboratory, Technical Report MITL-TR-73-93 (1993).
- 2) Forman, G.H. and Zahorjan, J.: The Challenges of Mobile Computing, IEEE Computer, Vol. 27, No. 4 (1994).
- 3) 保木本晃弘, 中島達夫: オブジェクト指向に基づくモバイルコンピューティングに適したカスタマイズ可能な OS 構築のための枠組, JAIST Research Report, IS-RR-94-20 S (1994).
- 4) Marsh, B.: System Issues on Mobile Computing, Matsushita Information Technology Laboratory, Technical Report MITL-TR-50-93 (1993).
- 5) 中島達夫: Real-Time Mach の現状と将来, JAIST, Research Report, IS-RR-94-18 S (1994).
- 6) 谷田 武: ネットワーク層におけるホスト認証機構の設計と実装, 北陸先端科学技術大学院大学, 修士論文 (1994).
- 7) 寺岡文男: ホスト移動透過性を提供するプロトコル, 情報処理, Vol. 35, No. 12, pp. 1093-1098 (Dec. 1994).
- 8) Tokuda, H., Nakajima, T. and Rao, P.: Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System, In Proceedings of 1st USENIX Mach Symposium, 1990 (Oct. 1990).

(平成6年5月19日受付)



中島 達夫 (正会員)

1961年生。1990年慶應義塾大学理工学部理工学研究科博士課程修了。工学博士。1990年米国カーネギーメロン大学訪問研究員。1991年独国 GMD 客員研究員。1992年米国カーネギーメロン大学訪問研究員。1993年北陸先端科学技術大学院大学計算センター助教授。現在に至る。マルチメディア処理、移動計算機環境、分散処理、オブジェクト指向オペレーティングシステム、高信頼システムに興味を持つ。ACM, IEEE, USENIX, ソフトウェア学会各会員。



保木本晃弘

1968年生。1990年(労働省所管)職業訓練大学校情報工学科卒業。1992年アロカ(株)退社。1994年北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。現在、北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程在学中。移動計算機環境、オペレーティングシステム、実時間処理、オブジェクト指向計算に興味を持つ。