

モバイルコンピューティング環境における 協調作業を支援する電子会議システム

太田 賢[†] 山田 善大[†] 奈良岡 将英^{††}
渡辺 尚^{†††} 水野 忠 則^{†††}

モバイルコンピューティング環境で協同作業を行う場合、お互いが時間を共有するリアルタイムの協同作業は、しばしばユーザの都合や通信路の状態の悪化により中断される。また、参加者ごとに送信、受信に利用したいメディア、利用できるメディアは異なることが多く、円滑なコミュニケーションが妨げられる可能性がある。本論文は、ホワイトボードなどの共有空間を維持したまま、リアルタイムの会議から非同期の会議に会議形態を切り替えることができる柔軟性を提供し、リアルタイムに会議に参加できないユーザのためにビデオ、ボイス、ホワイトボード、テキストの書き込みなどの会議情報の蓄積を行うモバイル電子会議システムを提案する。このシステムは、すべての参加者が意志疎通を図ることができるように、全員が受信できるメディアを発言候補として各参加者に提示する機能、ユーザが効率的に蓄積された会議情報にアクセスするためのフィルタリング、音声短縮機能を提供する。本システムのシステム設計、実装、実験について述べる。

Mobile Teleconference System Supporting Cooperative Work in Mobile Computing Environment

KEN OHTA,[†] YOSHIHIRO YAMADA,[†] MASAHIDE NARAOKA,^{††}
TAKASHI WATANABE^{†††} and TADANORI MIZUNO^{†††}

This paper proposes a mobile teleconference system, DYNAMITE, to support cooperative works in mobile computing environment. It's important for participants to communicate each other smoothly in order to cooperate efficiently in doing a work. Unfortunately, a situation of a user and a link state can change frequently in mobile computing environment, and that may prevent smooth communication. For example, participating cooperative works may be disrupted when a user is using a poor wireless link. A user may have restriction of choosing media in a public space because of manners. DYNAMITE can switch a form of communication to synchronous or asynchronous so that a user can continue communication even if either a situation of a user or a link state changes. DYNAMITE also suggests convenient media for other participants to each user. In addition, it provides users with efficient access to server storage containing speeches of meetings by the filter and the shortening voice.

1. はじめに

コンピュータによる協同作業を支援するシステムはグループウェアと呼ばれ、コンピュータネットワークの発展と端末のマルチメディア化とともに発展をとげてきた。地理的に離れた相手と、ビデオ、ボイス、ホワイトボード、テキストなどを使ってコミュニケーションをとりながら協同執筆、ソフトウェア共同開発、電

子会議などの協同作業を行うことが可能になった¹⁾。

そして近年、携帯電話、PHSなど無線通信インフラの発展により、必要なときに所望の人と接続したり、情報を発信、受信することのできるモバイルコンピューティング環境が整備されつつある²⁾。PHSや携帯電話のデータ通信機能を使って、電車内などの移動中や出先の喫茶店などからインターネット、あるいはイントラネット上のマルチメディア電子会議システムに接続し、携帯端末を使ってミーティングや協同作業に参加することができる。

しかし、従来のマルチメディア電子会議システムはモバイルコンピューティング環境で利用するには実用性、使い勝手に問題がある。お互いが時間を共有するリアルタイムの協同作業は、しばしばユーザの都合

[†] 静岡大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University

^{††} 静岡大学工学部
Faculty of Engineering, Shizuoka University

^{†††} 静岡大学情報学部
Faculty of Information, Shizuoka University

や通信路の状態の悪化により中断される。モバイル電子会議システムには、リアルタイムの会議からユーザが都合の良いときに参加する非同期の会議に会議形態を切り替える柔軟性や、ある参加者が一時的に協同作業から離れている場合、その間の会議進行を記録するようなサポートが必要であると考えられる。また、参加者の場所、通信路の状態、端末の装備状況により、参加者ごとに送信、受信に利用したいメディア、利用できるメディアが異なる。全員が発言を受信できるように、望ましい発言メディアを参加者に提示するような機能も必要である。

本論文は、モバイル電子会議システム DYNAMITE (DYNAMIC Adaptive Mobile Teleconference system) を提案し、そのシステム設計について論じるものである。DYNAMITE の特長は、1. 同期会議と非同期会議の切替え、2. 適切な発言メディア候補の提示、ビデオ、ボイス品質の設定、3. 会議から離れている参加者のための会議情報の蓄積、効率的な蓄積情報提供 (グラフ表示、フィルタリング) である。

以下、2章で研究の背景、関連研究について述べ、3章でモバイル電子会議システム DYNAMITE の提案を行う。4章で DYNAMITE の各機能について説明し、5章で実装と実験、評価について述べ、6章でまとめとする。

2. 背景

グループウェアの研究、開発は、まず電子メールを基盤としたワークフローやスケジュール管理を行う非同期型のものが手がけられ、その後、マルチメディア電子会議のようなリアルタイム型、同期型のものが注目を集めた³⁾。これらは高価なワークステーション、ビデオカメラを必要とし、ISDN、LAN など利用ネットワーク環境も限定されていた¹⁾。しかし近年、パソコンのマルチメディア化、低価格化、インターネットの普及により、CU-SeeMe、NetMeeting などの安価なインターネットパソコン会議システム⁴⁾が登場し、個人ユーザもマルチメディア電子会議システムを利用できるようになった。

しかし、パソコン会議システムも含め、従来のマルチメディア電子会議システムは、モバイルコンピューティング環境では実用性、使い勝手に問題がある。また、低速で不安定な無線通信でマルチメディアを扱うのも難しい。以下で、本論文の前提条件、定義を述べた後に、問題点、関連研究について述べる。

2.1 前提条件、定義

本論文では、全参加者が会議中に継続して会議シ

テムに接続し、全参加者が時間を共有してリアルタイムに発言をやりとりする同期形態の協同作業を同期会議と呼び、その参加者の参加形態を同期参加と呼ぶ。一方、参加者が都合の良い時間に間欠的に会議システムに接続し、非同期に発言をやりとりする非同期形態の協同作業を非同期会議と呼び、その参加者の参加形態を非同期参加と呼ぶ。

さらに、本論文では同期参加する参加者と非同期参加する参加者が混在する部分非同期会議形態を導入する⁵⁾。非同期参加する参加者は不在期間の会議進行に関し、他の参加者に説明を求めることができるが、その詳細まで知るのには難しい。部分非同期会議は非同期会議と同様に会議情報を蓄積することでこの問題に対処する。

本論文の協同作業、会議は、同僚や仲間との打合せ、企画、ブレインストーミングなどのインフォーマル、カジュアルなミーティングであり、時間的に融通がきき、通信が切断してしまったり、少しの間席を外すなどの多少のコミュニケーションの障害が許容されるものとする。また、会議参加者数は2~4人までの少数を対象とする。少しの障害も許されないようなフォーマルな会議、多人数の会議は、モバイルコンピューティング環境、無線通信環境で実施するのは困難であると考えられる。

2.2 コミュニケーションの制約

モバイルコンピューティング環境にいる参加者は、その参加者の行動、通信路状態により会議に参加できなくなるという制約を受ける (図1)。協同作業を行うには、座って携帯端末を操作する余裕が必要であり、電車を乗り換えたり、歩いて移動しているときなどは会議に参加することができない。無線通信が不安定で接続が切れてしまったり、高速移動中や無線通信のサービスエリア外にいて、通信できない場合も会議に参加することができない。移動中、出先にいるユー

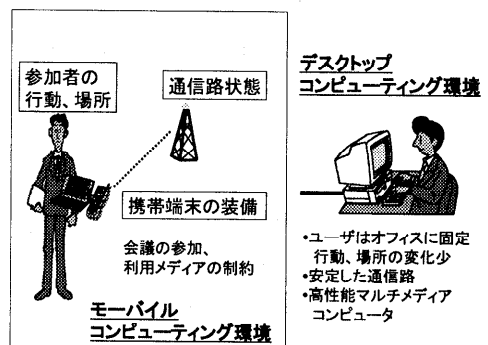


図1 モバイルコンピューティング環境と固定環境
Fig. 1 Mobile computing environment vs. fixed computing environment.

ずは、同期会議よりも自分の都合の良いときに参加できる非同期会議の方が望ましい。

また、参加者の場所、通信路状態、携帯端末の装備状況から、送信、受信に利用したいメディア、利用できるメディアが参加者ごとに異なるという問題が存在する。まわりの騒音が大きすぎてボイスを受信メディアとして利用できない、公共の場所にいるのでボイスを送信メディアとして利用できないといった参加者の場所による制約や、低速な無線通信を使っているので高品質ビデオは利用できないといった通信路状態の制約が考えられる。他にも携帯端末の装備状況により、カメラがないのでビデオを送信できない、画面が小さくモノクロなのでホワイトボードを利用できないといったことが考えられる。

モバイルコンピューティング環境における協同作業には、ユーザが同期参加するのが難しくなったら非同期会議に切り替えて会議を続行すること、その後、同期参加が可能になったら同期会議に切り替える柔軟性が必要である。もちろん、会議形態の切替えは参加者同士の同意が必要であり、特に非同期会議から同期会議の切替えは呼び出された相手が不在であったり、拒否するかもしれない。しかし、会議形態を切り替える仕組みは有用であると思われる。また、一時的に同期参加が難しいのならば、他の参加者はそのユーザの再接続を待つことなく、そのまま同期会議を続行することも考えられる（一部の参加者が非同期参加する部分非同期会議に相当する）。

しかし、これまで同期会議、非同期会議の両方をサポートするマルチメディア電子会議システムはほとんどなかった。同期会議をサポートする会議システムと非同期会議をサポートするシステムを使い分けるのは、ユーザに負担をかけるかもしれないし、ホワイトボードなどの共有空間を別システムで引き継ぐことができないかもしれない。非同期会議をサポートする電子会議システムで準リアルタイムの同期会議を行うのも使い勝手に難があると思われる。

協同作業ではないが、同期と非同期のコミュニケーションを統合したシステム例として、Talkware⁶⁾がある。これは電子メールと電話を統合したLANベースのシステムで、電話をかけて相手が不在の際は、発信者はそのままの状態でもメールを起動してボイスやテキストでメッセージを送ることができる。携帯電話、PHSのサービスで、電話以外に電子メールを含む文字メッセージやりとり機能を提供するものがある。我々もこれまで、同期と非同期両方の会議をサポートする同期・非同期電子会議システム PARCAE⁵⁾を開発し

てきた。本論文で提案するモバイル電子会議システムは、PARCAEの概念に基づくもので、同期会議、非同期会議、部分非同期会議をサポートし、それを切り替えることができる。

2.3 低速、不安定な無線通信

無線通信には低速で誤り率が高く、スループット、遅延、誤り率などの通信サービス品質が頻繁に変化するという性質があり、有線を対象に設計されたビデオ、ボイス通信方式はうまく動作しない。伝送速度の問題に対して、ITU-T 勧告の低ビットレートのビデオ会議用映像符号化方式 H.263 や、ボイス符号化方式 G.729、人物以外の背景部分の映像を低精細、低フレームレートにし、要求ビットレートを削減する技術⁷⁾などの技術を利用できる。また、FEC、ARQ などの誤り制御技術を用いたビデオ転送などが検討されている^{8)~10)}。品質の変動に適応するシステムの例としては、H.261 符号化方式のパラメータを使って映像の出力データ量を増減し、スループットの変動に適応するようなインターネット上のビデオ会議システム IVS¹¹⁾ や、マルチエージェントを利用して、利用者の要求や計算機資源の状況に応じて QoS を自律的に調整するやわらかいビデオ会議システム¹²⁾ などがある。

また、モバイルコンピューティングにおいて回線交換の無線通信コストの高さやサービスエリアの存在といった理由から、携帯端末がネットワークに接続していない状態を考慮する必要がある。非同期会議において、非接続時に発言を端末にキューイングさせ、通信が可能になったら自動的に送信する機能や、通信中に接続が切れてしまったら自動的に再接続して、転送の途中から回復するような機能が有用であろう。これらをサポートするミドルウェアが研究、開発されており¹³⁾、製品も市場に出ている。

本論文は 2.2 節で述べたコミュニケーションの制約を改善することに焦点を当て、本節であげたビデオ、ボイスの圧縮、符号化方式、メディアスケール、モバイルミドルウェア等の技術を積極的に利用する立場をとる。

3. モバイル電子会議システム

本論文で提案するモバイル電子会議システム DYNAMITE は参加者に対応するクライアントと会議を管理するサーバとから構成される。

クライアントは、携帯端末あるいはデスクトップコンピュータで、イーサネット、電話回線、無線 LAN、PHS、携帯電話などなんらかの通信メディアでインターネットに接続するとする。クライアント端末がマ

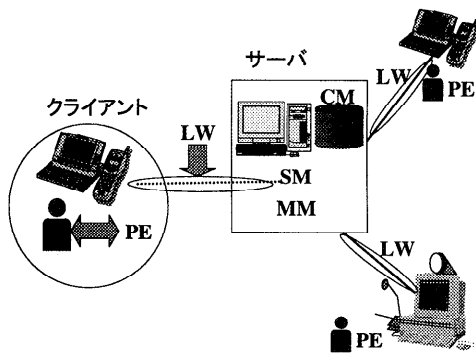


図2 コンポーネント
Fig. 2 Five components.

イク、ビデオカメラを装備している場合、テキストやホワイトボードに加え、ボイス、ビデオを利用した会話ができる。

サーバはインターネット上、あるいはイントラネット内に配置される。クライアントは必ずサーバを介して会議を行う。サーバは同期会議と非同期会議の両方をサポートするため、リアルタイムに参加者の発言を参加者全員に転送する機能と、発言をストレージに蓄積し、取得要求がきたら転送する機能を持つ。会議情報の蓄積は、会議でやりとりされるビデオ、ボイス、ホワイトボードの書き込みすべてをストレージに記録する。

DYNAMITE は以下の 3 つの機能を提供する。サーバ内に配置するセッションマネージャSM (Session Manager)、メディアマネージャMM (Media Manager)、会議情報マネージャCM (Conference Manager) というモジュールがそれぞれの機能を実現する (図 2)。

- (1) 会議形態の切替え (SM) : 各参加者の参加形態要求と通信路状態から、各参加者の参加形態 (同期参加/非同期参加) を決定し、全参加者の参加形態から同期、非同期、部分非同期という会議形態を決定する。
- (2) 発言メディア候補提示、品質設定 (MM) : 各参加者の受信メディア要求を考慮して適切な発信メディアを各参加者に提示する機能、通信路状態を監視して、高速な通信環境にいるユーザには高品質ビデオを送り、低速な通信環境にいるユーザに対しては、ビデオを送るのをやめたり、ビデオ品質を落とす機能を提供する。
- (3) 会議情報の効率的提供 (CM) : 非同期参加者が蓄積された会議情報を効率的に取得できるように、会議進行のグラフ表示、フィルタリング、音声短縮機能を提供する。

表 1 参加者エンティティと通信路ウォッチャの獲得する情報
Table 1 Information from PE and LW.

	セッションマネージャSM	メディアマネージャMM
PE	参加形態要求	送信, 受信メディア指定
LW	同期参加の可否	ビデオ, ボイス品質

SM の会議形態の切替え、MM の発言メディア候補表示、品質設定の機能は、各参加者のクライアントに配置されてユーザの入力を受け付ける参加者エンティティPE (Participant Entity) と、各クライアントとサーバに配置されて通信路の状態を監視する通信路ウォッチャLW (Link Watcher) から通知される情報に従って動作する (表 1)。

3.1 参加者エンティティPE

各参加者は PE に自分の参加形態要求を通知する。同期会議中に同期参加する余裕がなくなったら自分の参加者エンティティPE に非同期参加と通知する。また、部分非同期会議に非同期参加しているときに同期参加したくなったら、PE に同期参加と通知する。PE はユーザの入力を受け取ったらすぐに SM に通知する。

さらに、各参加者は任意のときに利用携帯端末が扱えるメディア、自分が利用したいメディアを送信、受信別に PE に指定する。それぞれを送信メディア指定、受信メディア指定と呼ぶ。ユーザはビデオ、ボイス、ホワイトボード、テキストの 4 つのメディアに対して、端末で利用不可能な場合 0、利用可能な場合 1、さらに自分が利用メディアとして所望する場合 2 というポイントを与える。端末の装備情報をオペレーティングシステムから得られればある程度自動化が可能であるが、本論文ではユーザ自身が判断するものとする。

たとえば、ビデオを送信できない、ボイスを送信したくない、ホワイトボードとテキストは積極的に使いたい場合、送信メディア指定は $\{V=0, A=1, W=2, T=2\}$ という集合になる (V はビデオ、 A はボイス、 W はホワイトボード、 T はテキストを示す)。受信メディア指定も同様である。

3.2 通信路ウォッチャLW

通信路ウォッチャLW は通信路を監視することにより、各参加者の同期参加の可否を判断し、適切なビデオ、ボイス品質を決定する。

同期参加の可否は、クライアント上の LW がサーバ上の LW に対し、一定間隔 (たとえば 5 秒ごと) でメッセージを送り、サーバ上の LW がメッセージを受け取れば、同期参加していると判断する。しかし、前回メッセージを受け取ってからタイムアウト時間 (たとえば 30 秒) を超えてもメッセージが到着しない場合、そのユーザの接続は切断されていると判断し、サーバ

表2 ビデオ, ボイス品質設定
Table 2 Quality of video and voice.

レベル	5	4	3	2	1
ビデオ	H	L	L	N	N
ボイス	H	H	L	L	N
BR	$V_H + A_H$	$V_L + A_H$	$V_L + A_L$	A_L	0

上の LW は同期参加不可能と SM に通知する。

LW はビデオ, ボイスの送信, 受信品質を N (利用不可), L (低品質), H (高品質) の3段階で設定する。ビデオとボイスを比べると, ビデオは一般的に協同作業において補助的な役割であり, ボイスの方が重要である。表2に5つのビデオとボイスの組合せ(レベル1から5)とその要求ビットレート BR を示す。DYNAMITE の扱う高品質, 低品質ビデオ, 高品質, 低品質ボイスの要求ビットレートは固定値で, それぞれ V_H, V_L, A_H, A_L (bps) であると仮定している。

クライアント側の LW, サーバ側の LW は, ある時間間隔(たとえば10秒ごとに)に受信したビデオ, ボイスを含む全データ量をその時間間隔で割って, スループットを算出する。サーバ側の LW が算出したスループットを送信スループット T_s , クライアント側のスループットを受信スループット T_r と呼ぶ。しきい値を, 要求ビットレートの $x\%$ (たとえば90%) と設定し, T_s がしきい値を超えるレベル i を選ぶ。レベル2に設定した場合, ビデオは送信不可, ボイスは低品質 L となる。受信に関しても同様に T_r がしきい値を超えるレベルに設定する。

4. DYNAMITE 機能

4.1 会議形態の切替え

本論文では一連の継続する会議をセッションと呼ぶ。あるユーザが参加者を呼び出して会議を開催するとセッションが開始され, 参加者が会議を終了するときセッションが削除される。会議形態が同期, 非同期, 部分非同期に切り替わっても, セッションは維持される。協同作業の場合, セッションのライフタイムは数日, 数週間など比較的長くなるだろう。セッション中, 会議参加者の全体リスト, 蓄積された会議情報などが維持される。

セッションマネージャ SM は各参加者の参加形態を, 対応する PE が同期参加を要求し, 対応する LW が同期参加可能と通知している場合に同期参加, そうでない場合非同期参加と決定する。次に, セッション全体の会議形態を以下のアルゴリズムで決定する。全員が同期参加ならば同期会議, 同期参加のユーザが1人以下ならば非同期会議, 2人以上ならば部分非同期会議

に決定される。 m は全参加者数, n は同期参加のユーザ数である。

$$\text{会議形態} = \begin{cases} \text{同期会議} & n = m \\ \text{部分非同期会議} & 1 < n < m \\ \text{非同期会議} & n \leq 1 \end{cases}$$

ユーザ A, B, C で同期会議を行っている際, SM がユーザ B の PE から非同期参加という通知を受け取ったり, ユーザ B の LW から同期参加不可という通知を受け取ると, SM は上記のアルゴリズムにより, 会議形態を部分非同期に切り替え, ユーザ B のためにユーザ A, C の発言の蓄積を開始する。ユーザ A, C はユーザ B がいなくて同期会議をする意味がないと判断したら, 同期参加不可と PE に通知する。同期参加するユーザが1人以下になったら SM は会議形態を非同期会議に切り替える。

その後, ユーザ B が会議に再参加したとする。部分非同期会議が続行されていた場合, ユーザ B が PE に同期参加要求すると, 全員が同期参加になって同期会議に切り替わり, SM は会議情報の蓄積を停止する。一方, ユーザ B が不在のために非同期会議に切り替えられていた場合, ユーザ B はユーザ A, C を呼び出して同期会議を再開することもできる。ユーザ A, C のどちらかが呼び出しを受理すれば, 会議形態が部分非同期会議に切り替わり, 両方が受理すれば同期会議に切り替わる。

4.2 発言メディア候補の提示

メディアマネージャ MM は同期会議, 部分非同期会議に同期参加している参加者の PE, LW から送受信メディア指定, ビデオ, ボイスの送受信品質設定の情報を受け取り, 以下の手順に従って各同期参加者に対し, 発言メディアの候補を提示する。参加者 i の発言メディアの候補を m_i と記す。

- (1) m_i をすべてのメディアを含む集合で初期化:
 $m_i = \{V, A, W, T\}$.
- (2) 参加者 i が送信できないメディア, 参加者 i 以外の聞き手が受信できないメディアを m_i から取り除く。まず, 参加者 i の送信メディア指定でポイント0のメディア, 送信品質設定が N のメディアを m_i から除外して参加者 i の送信可能メディア ms_i を得る。次に, 参加者 i 以外のすべての参加者について, ms_i から受信メディア指定でポイント0, 受信品質設定で N と指定されているメディアを除外して, 発言メディア候補 m_i とする。
- (3) m_i に含まれるメディアを, 参加者 i 以外の受

表3 発言メディアの提示

Table 3 Suggesting convenient media for other participants.

ユーザ	1	2
送信メディア	2, 1, 2, 1	0, 2, 1, 1
受信メディア	2, 2, 2, 1	1, 2, 1, 1
発言候補提示	$m_1 = \{A, W, V, T\}$	$m_2 = \{A, W, T\}$

信メディア指定でポイントの多い順に並べ替え、提示する。ポイントが同数の場合、参加者 i の送信メディア指定のポイントで並べる。送信メディア指定のポイントも同じ場合、 T, W, A, V の順に並べる。

参加者は提示された発言メディアの候補を参考にメディアを選択して、発言する。 m_i から発言メディアを選べば、同期参加しているすべての参加者がその発言を受信できることが保証される。しかし、 m_i が空集合である場合や、 m_i 以外のメディアで発言したい場合、参加者 i は集合 ms_i から発言メディアを選んで発言する。この場合、同期参加者の一部はその発言を受信できない。その発言を後で見聞きすることにして同期参加し続けるか、非同期参加をPEに通知できる。

発言メディア候補の提示を例示する。ユーザ1,2が同期会議を行っていて表3のように送受信のメディア指定を行ったとする(4つ組の数字は順にビデオ, ボイス, ホワイトボード, テキストのポイントを示す)。このときユーザ1には m_1 , ユーザ2には m_2 という発言メディアの候補が提示される。その後、MMがユーザ2のLWよりビデオの受信品質設定 N という通知を受け取ったとすると、 m_1 は $\{T, A, W\}$ に更新される。ユーザ1はユーザ2がビデオを受け取ることができないことが分かる。一方、ユーザ1がボイスが聞き取りにくいので、PEに受信メディア指定 $\{V = 2, A = 1, W = 2, T = 2\}$ を通知すると、 m_2 は $\{W, T, A\}$ に更新される。

MMは発言メディア候補の提示の機能の他にも、高品質のビデオ, ボイスの発言を低品質に加工してから、受信ビデオ品質がL(低品質)の参加者に配送するという品質変換処理も行う。

4.3 会議情報の効率的提供

会議に遅れて参加したり、同期会議から一時的に離れたり、非同期参加するユーザは、蓄積された会議情報にアクセスし、自分の不参加期間に誰がどんな発言をしたのかという会議進行を知る。しかし、不在期間のすべての発言を見聞きするには多くの労力と時間を必要とする。テキスト, ホワイトボードは比較的短時間で参照することができるが、ボイスやビデオは取り寄せる

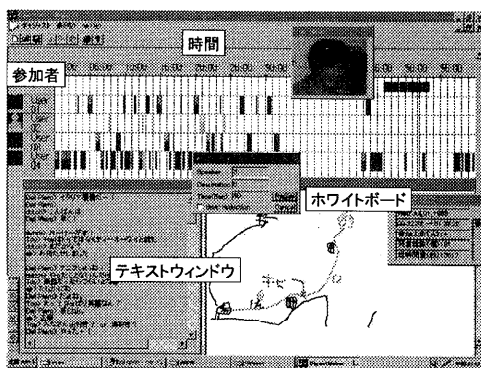


図3 会議情報マネージャ画面

Fig. 3 Conference manager.

データ量も多く、参照するのに長い時間がかかる。

会議情報マネージャCMは、非同期参加するユーザが蓄積された会議情報に効率的にアクセスできるように、1. 会議進行のグラフ表示, 2. フィルタリング, 3. 音声短縮を行う機能を提供する。1と2の機能はサーバが各クライアントからビデオ, ボイス, ホワイトボード, テキストデータを受け取る際に記録する会議発言記録を用いて実現する。会議発言記録は、発言者, 発言対象者(ボイスのみ), 発言開始時刻, 終了時刻(ビデオ, ボイスのみ), メディアの種類を含む。

本論文は、参加者がボイスで発言する際、画面上の参加者のアイコンをマウスでクリックして発言対象者を指定して、しゃべり始めるという操作を仮定している。参加者アイコンの指定のなかった場合、全員に発言をなげかけたと判断する。電子会議システムでは視線などの情報の欠如により、誰に話しているのか分かりにくいときがあるので、ユーザに負担を強いるものの、発言対象者を明示的に指定するのは有用だと思われる。

4.3.1 会議進行のグラフ表示とフィルタリング機能

ユーザが会議進行のグラフ表示を要求すると、クライアントはCMから会議発言記録とテキストデータ, ホワイトボードデータを取得する。クライアントは縦軸に参加者, 横軸に時間をとって会議発言記録をグラフにプロットする(図3)。ビデオ, ボイスの発言は開始時刻, 終了時刻に基づきバーで表示される。ボイス発言の対象者はバーの色で示される。このグラフにより、誰がいつどれだけしゃべったか, 発言が誰に対するのかを視覚的に理解できる。ユーザがビデオ, ボイスを表すバーをマウスで選択すると、クライアントはサーバから対応するビデオ, ボイスデータを取得し、再生する。時間軸をマウスでクリックするとその時刻の近辺に発言されたテキスト, ホワイトボードの書き込みを見ることができる。

表4 音声短縮機能の効果
Table 4 Effect of shortening voice.

	短縮前	80%短縮	60%短縮
データ量	118 KB	94 KB	71 KB
再生時間	15 秒	12 秒	9 秒

さらに、ユーザは時間範囲と発言者、発言対象者の3つをキーとしてクライアントに入力し、今から10分前までの発言、ある参加者Aの発言、自分に対してなされた発言の一覧が欲しいといったフィルタリングを要求することができる。CMは会議発言記録を検索して、フィルタリング要求にマッチする会議発言記録を抽出し、クライアントに渡す。

4.3.2 音声短縮機能

音声の短縮機能により、蓄積されたボイス発言の取得データ量の削減とボイス発言を聞く時間の削減をはかる。ユーザが蓄積されているボイス発言をサーバから取り寄せる際に、音声短縮を要求すると、CMは即時にその短縮処理を行い、ユーザに配送する。

蓄積された音声ファイルの音声サンプルを間引きしながら重ね合わせる方式¹⁴⁾により音声短縮機能を実装し、実験を行った結果、表4のようにボイスの再生時間、転送データ量が削減されることを確認した。この方式はFFT、DCTを利用した音声処理に比べ、品質は劣るものの高速である。元の音声の長さの3分の2程度までが内容を理解する限界であること、Pentium MMX 200 MHzのマシンで15秒の発言を短縮するの約500ms程度の時間がかかることを確かめた。実験では未圧縮の比較的高品質のPCMボイスの短縮を行った。圧縮符号化方式によるが、元のボイス品質が低い場合、短縮するのは難しいと思われる。

5. 実装と評価

DYNAMITEのクライアント、サーバのプロトタイプをマイクロソフトのVideo for Windows開発キットを利用してWindows 95上に実装した。クライアントは、PEを含むユーザインタフェース（ユーザの各種入力の取込み）とLWを含むサーバとの通信部から構成される。サーバはLW、SM、MM、CMというコンポーネントから構成されている。

クライアント、サーバ間の通信は、ビデオ、ボイスに関してはUDP、ホワイトボード、テキスト、コンポーネント間のやりとりに関してはTCPを用いている。ビデオはビデオフレームをいくつかのパケットに分割してUDPで配送し、ボイスは1つのパケットにいくつかのオーディオサンプルを入れてUDPで配送している。現在のプロトタイプはフレームレートの異なる2段階

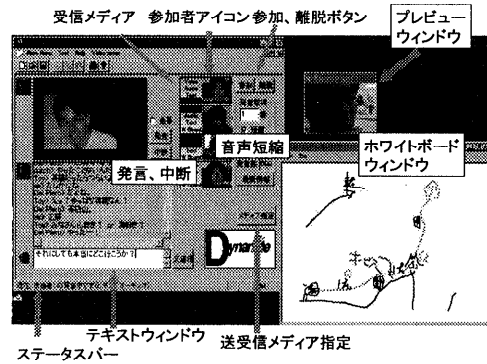


図4 クライアント画面
Fig. 4 DYNAMITE client.

のビデオ品質（2フレームレート/秒と1フレームレート/秒、サイズと色数は両者とも160×120ピクセル、4ビットグレースケール）を扱う。それぞれの要求ビットレートは150 Kbps、75 Kbpsである。ボイスは単一の品質（サンプリング周波数8 KHz、量子化ビット8 bit）を扱い、要求ビットレートは64 Kbpsである。未圧縮のため要求ビットレートが大きくなっている。

5.1 ユーザインタフェース

図4にクライアントのユーザインタフェースを示す。ユーザは参加、離脱ボタンにより、会議への同期参加、非同期参加をPEに通知する。参加者アイコンは会議の全参加者を表示し、同期参加か非同期参加かで枠の色が変わる。また、各ユーザの受信可能メディアを表示する。ユーザはメディア指定ボタンを押してダイアログボックスを開き、送信、受信ごとに各メディアのポイントを入力する。ステータスバーに発言メディア候補が表示される。音声短縮チェックボックスをオンにすると、蓄積されたボイスを取得するとき短縮される。

ユーザはテキスト、ホワイトボードウィンドウに、キーボード、マウス、ペンを使ってテキスト、図形などを書き込む。プレビューウィンドウには自分のカメラのビデオが表示される。ユーザがプレビューウィンドウをマウスでクリックすると、クライアントがビデオカメラからビデオデータをキャプチャし、サーバに送信し始める。もう一度クリックすると送信をやめる。ユーザが自分以外の参加者アイコンをクリックするか、発言ボタンを押すと、クライアントは発言権を取得し、ボイスのキャプチャを始め、サーバに送信し始める。中断ボタンを押すとキャプチャ、送信をやめる。他の参加者が発言中であった場合、その参加者は発言権を奪われ、ボイスの送信を強制的に中断させられる。本プロトタイプが複数のボイスのミキシングをサポート

していないため、このような制限がある。

5.2 実 験

研究室のイーサネット LAN にサーバと 2 台のクライアント（有線クライアントと呼ぶ）を配置し、無線 LAN を介してサーバにアクセスするクライアント（無線 LAN クライアントと呼ぶ）と、PHS の無線モデム通信によってリモートアクセスサーバを経由してサーバにアクセスするクライアント（PHS クライアントと呼ぶ）を 1 台ずつ用意して実験を行った。研究室の学生 4 人がそれぞれのクライアントを利用して、夏合宿の行き先、行き方について 40 分程度の電子会議を行った。

参加者が離脱ボタンを押して非同期参加の参加形態を要求すると有線、無線 LAN クライアントでは即時に、PHS クライアントでも 1 秒程度で参加形態が切り替わり、サーバは非同期参加者へのリアルタイムの送信をやめ、蓄積を開始する。PHS クライアントは一時的に会議から離れたりして、非同期参加の参加形態で会議に加わったが、蓄積機能により会議進行を把握でき、議論についていくことができた。送受信のメディア指定に関しては入力が面倒であるが、誰がどのメディアを送信、受信できるかを参加者アイコンに表示するのは有用であることが分かった。

また、会議情報の蓄積とグラフ表示は、図 3 に示すように、各参加者がどの程度発言したのかがよく分かった。実験では参加者 4 が会議の中心となっているのが分かった。また、ホワイトボードの書き込みの過程の記録と、その近辺のボイス、テキストを見聞きすることで、どのようにホワイトボードが作成されたのかを理解することができた。

通信路ウォッチャ LW の切断検出の動作確認を、無線 LAN クライアント、PHS クライアントで 10 回行った。クライアントからサーバにメッセージを送る間隔を 5 秒、タイムアウト時間を 30 秒と設定した。ビデオ転送中に無線 LAN の LAN カードを利用不可にし、PHS は Windows のダイヤルアップネットワークの切断を行った。無線 LAN クライアントの場合、サーバはほぼ一定の間隔でメッセージを受け取った（平均 5.67 秒、最小値 5.60 秒、最大値 5.83 秒）。サーバが最後にメッセージを受け取ってから平均 32.7 秒後に切断を検出した。一方、PHS クライアントはメッセージの受取り間隔にばらつきがあり（平均 7.17 秒、最小 2.59 秒、最大 22.34 秒）、最後のメッセージの受信から平均 33.1 秒後に切断を検出した。PHS の場合、切断していなくても間隔が大きくなることがあるのでタイムアウトの設定が難しいが、30 秒程度のタイムアウト設定は妥当であると考えられる。

LW の品質設定機能に関しては、有線、無線 LAN クライアントの LW は高品質ビデオとボイスが利用可能であると判断し、PHS クライアントの LW はビデオ、ボイスとも（スループット不足のため）利用不可であると判断した。サーバは各 LW の判断に従って有線 LAN、無線 LAN クライアントにはフレームレート 2 のビデオとボイスを配送し、PHS クライアントにはビデオ、ボイスとも配送しないことが確かめられた。

6. ま と め

本論文では、モバイルコンピューティング環境における協同作業を支援するモバイル電子会議システム DYNAMITE を提案した。参加者エンティティ、通信路ウォッチャ、セッションマネージャ、メディアマネージャ、会議情報マネージャという 5 つの主要な DYNAMITE のコンポーネントについて述べた。また、実装、実験を行い、各コンポーネント、機能の動作確認、実際の会議での有効性を評価した。同期会議から非同期会議の切替え、会議情報の蓄積とそのグラフ表示はモバイルコンピューティング環境だけでなく、オフィス環境においても有用であると考えられる。

今後の課題は、ユーザが逐次取得するボイスを選択することなく、短時間で会議進行の把握ができるように、蓄積された会議情報から自動的に会議のエッセンスを凝縮したダイジェストを作成する手法について検討したい。会議発言記録の時間的構造に基づいてある時間範囲の中心人物の発言を抽出したり、会議の活性時間の発言を抽出すれば、会議のエッセンスがその中に含まれるのではないかと考えている。また、ボイス、ビデオの適切な圧縮方式を採用し、無線通信環境でもビデオ、ボイスを扱えるようにしたい。

参 考 文 献

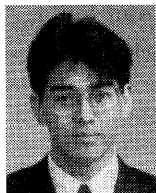
- 1) 渡部和雄, 坂田史郎, 前野和俊, 福岡秀幸, 大森豊子: マルチメディア分散在籍会議システム MERMAID, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.9, pp.1200-1209 (1991).
- 2) 村田嘉利: 人を場所・時間的制約から解放するモバイルコンピューティング, 電子情報通信学会誌, Vol.80, No.8, pp.844-849 (1997).
- 3) 石井 裕: リアルタイムグループウェアのデザイン, 情報処理学会誌, Vol.34, No.8, pp.1017-1027 (1993).
- 4) Vetter, R.J.: Videoconferencing on the Internet, *computer*, Vol.28, No.1, pp. 77-80 (1995).
- 5) 太田 賢, 渡辺 尚, 水野忠則: モバイルユーザのための同期/非同期電子会議システム, 情報処理学会モバイルコンピューティング研究グルー

プ研究会報告書, Vol.96, pp.13-18 (1996).

- 6) 星 徹, 松井 進, 高田 治, 岩見直子, 高原 桂子, 小山俊明: リアルタイム・蓄積統合マルチメディアコミュニケーションシステムト・プラットフォーム, 情報処理学会グループウェア研究会報告書, Vol.95, No.87, pp.25-30 (1995).
- 7) 山本吉伸, 仁木和久: 画像多重伝送方式によるインターネット動画サーバとビューア, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会報告書, Vol.97, No.2, pp.33-38 (1997).
- 8) Dasen, M., Fankhauser, G. and Plattner, B.: An Error Tolerant, Scalable Video Stream Encoding and Compression for Mobile Computing, *ACTS Mobile Summit 96*, pp.762-771 (1996).
- 9) Alwan, A., Bagrodia, R., Bambos, N., Gerla, M., Kleinrock, L., Short, J. and Villasenor, J.: Adaptive mobile multimedia networks, *IEEE Personal Communications*, Vol.3, No.2, pp.34-51 (1996).
- 10) 加藤正美, 白井憲義, 田坂修二: PHS におけるビデオ伝送方式の性能評価, 電子情報通信学会論文誌 (B-II), Vol.J79-B-II, No.10, pp.646-656 (1996).
- 11) Turletti, T. and Huitema, C.: Video conferencing on the Internet, *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol.4, No.3, pp.340-351 (1996).
- 12) 菅沼拓夫, 藤田 茂, 菅原研次, 木下哲夫, 白鳥則郎: マルチエージェントに基づくやわらかいビデオ会議システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.6, pp.1214-1224 (1997).
- 13) 重野 寛, 清松和明, 岡田謙一, 松下 温: モバイル・コンピューティングをサポートする MC² Platform, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-B-I, No.2, pp.49-57 (1998).
- 14) 戸田 浩: サウンドエフェクト, *C MAGAZINE*, Vol.8, No.12, pp.22-50 (1996).

(平成 10 年 3 月 3 日受付)

(平成 10 年 9 月 7 日採録)



太田 賢 (学生会員)

昭和 46 年生。平成 6 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。平成 8 年同大学大学院修了。現在、同大学院博士後期課程 (設計科学専攻) に在学中。平成 9 年度日本学術振興会特別研究員。モバイルコンピューティング, マルチメディア通信, グループウェア, 分散システムに関する研究に従事。



山田 善大 (学生会員)

昭和 50 年生。平成 9 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。現在、同大学大学院博士前期課程 (計算機工学専攻) に在学中。グループウェアに関する研究に従事。



奈良岡将英

昭和 51 年生。平成 10 年静岡大学工学部情報知識工学科卒業。在学中は、マルチメディア通信の研究に従事。現在、静岡放送 (株) に勤務し、総合病院向けシステムの開発に従事。



渡辺 尚 (正会員)

昭和 57 年大阪大学工学部通信工学科卒業, 昭和 59 年同大学大学院博士前期課程修了。昭和 62 年同大学院博士後期課程修了。工学博士。同年、徳島大学工学部情報工学科助手。平成 2 年静岡大学工学部情報知識工学科助教授。現在、同大学情報学部情報科学科助教授。平成 7 年文部省在外研究員 (カリフォルニア大学アーバイン校)。平成 9 年情報処理学会モバイルコンピューティング研究会幹事。計算機ネットワーク, 分散システム, マルチエージェントシステムに関する研究などに従事。訳書「計算機設計技法」(トッパン) など。電子情報通信学会, IEEE 各会員。



水野 忠則 (正会員)

昭和 20 年生。昭和 43 年名古屋工業大学経営工学科卒業。同年三菱電機 (株) 入社。平成 5 年静岡大学工学部情報知識工学科教授, 現在、情報学部情報科学科教授。工学博士。情報ネットワーク, プロトコル工学, モバイルコンピューティングに関する研究に従事。著書としては、「プロトコル言語」(カットシステム), 「分散システムコンセプトとデザイン (第 2 版)」(電気書院, 訳), 「MAP/TOP と生産システム」(オーム社), 「分散システム入門」(近代科学社) などがある。電子情報通信学会, IEEE, ACM 各会員。