

ネットワーク共有データベースとハイブリッドP2Pを利用したウェアラブルシステムユーザへの注釈付け

牧田 孝嗣^{*1} 神原 誠之^{*1} 横矢 直和^{*1}

Annotation Overlay on Dynamic Users of Wearable Computers
with Shared Annotation Database and Hybrid Peer-to-peer System

Koji Makita^{*1}, Masayuki Kanbara^{*1}, and Naokazu Yokoya^{*1}

Abstract – This paper describes a wearable annotation overlay system which can correctly annotate dynamic users of wearable computers. To provide users with the newest annotation information, a network-shared database system for wearable AR systems has been proposed. With the database, a wearable annotation overlay system which can dynamically annotate users of wearable computers has been investigated. In conventional systems, since dynamic users' positions are transmitted to wearable AR systems via a shared database server, it is difficult to overlay annotations at a correct position mainly due to the low frequency of updating and the delay of client-server communication. In this paper, we propose a new method for wearable AR systems to obtain dynamic users' positions via hybrid peer-to-peer(P2P) network. The proposed method can overlay annotations on dynamic users correctly enough to show the relationships between users and annotations.

Keywords : Augmented reality, Wearable computer, Annotation overlay, Hybrid P2P, Network shared database

1. はじめに

近年、仮想物体を現実環境に重畳表示する拡張現実感(AR)を、ウェアラブルコンピュータ[1]上で実現するウェアラブルARに関する研究が盛んに行われている[2-5]。ウェアラブルARを利用すれば、現実環境中に存在する実物体に対して注釈を直感的に提示することができる[6-8]。

図1に、人物に注釈を付加するウェアラブル注釈提示の例を示す。このようなシステムの応用例として、人込みの中から知り合いの居場所を探すような場合や、近くに居る警察官や医者等、特定の属性を持ったユーザを探索するといったアプリケーションが挙げられる。また、パーティ会場等における、周辺の人物とのコミュニケーション開始の支援にも応用可能性がある。さらに、警備システムに適用し、天井等に固定された監視カメラを用いて、警備本部が警備員の配置状況を把握するといったアプリケーションも考えられる。

現実環境中に存在する物体に関する注釈の提示を行うには、ARシステムのユーザ視界中に存在する注釈対象の位置認識と、物体同定を行う必要がある。これまでの画像ベースの従来研究には、注釈対象自身に

マーカを設置する方法[9-10]や、事前知識を利用して注釈対象をトラッキングする方法[11-12]がある。しかしながら、人物への注釈付けを想定した場合、人物は自由に広域を動き回るため、マーカを直接貼り付けて位置を検出することや、カメラに写った人物の同定は困難である。

一方で、注釈情報の更新を目的としたネットワーク共有型データベース[13-14]を利用して、ネットワークを介してウェアラブルコンピュータのユーザ位置情報を獲得し、注釈を提示する方法が提案されている[15-16]。従来のシステム[15-16]では、クライアントサーバ型の環境が想定されており、提示するコンテンツやユーザの位置は全てサーバ内のネットワーク共有データベースを用いて管理されている。クライアントである注釈提示システムは、重畳表示するコンテンツ及び位置情報をサーバより取得する。そのため、注釈提示システムがウェアラブルシステムユーザに注釈付けを行う場合、ユーザ位置情報の更新頻度、及びクライアントサーバ間の通信遅延に起因する注釈情報の提示位置のずれが発生するという問題があった。注釈提示システムのユーザにとって、提示される情報が正しい位置に描画されない場合には、提示された注釈情報がどのユーザに対しての情報であるかの対応付けは困難であるため、これまでのシステムの応用例としては、

*1: 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

*1: Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

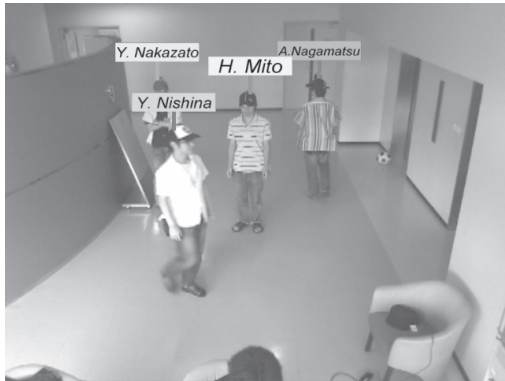


図1 人物への注釈提示の例

Fig.1 An example of annotating dynamic users of wearable systems.

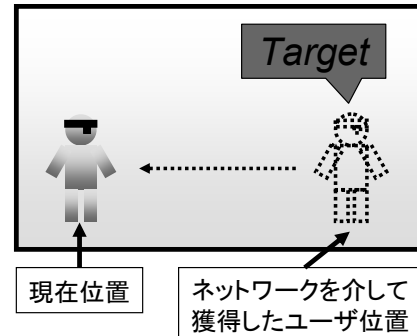


図2 ネットワークを介して獲得したユーザ位置を利用した注釈付加画像の例

Fig.2 An illustration of annotation overlay on a dynamic user via the network.

小数のユーザへの注釈付けを行う等にとどまるものであった。

このようなシステムにおいて、注釈の位置情報の更新頻度が高く、通信遅延が低減されれば、注釈の位置ずれを抑制することができる。位置ずれの小さい注釈付けが実現されれば、大規模環境に多数のユーザが密集しているようなシーンにおいても正しく注釈付けが可能であるため、その応用範囲は広くなると考えられる。

そこで本論文では、拡張現実感を用いたウェアラブルシステムユーザへの位置ずれの小さい注釈付けを実現するために、注釈提示システムがユーザの位置情報を高い更新頻度かつ小さい通信遅延で獲得する枠組みを提案する。本論文では、そのシステム的设计构想について述べ、これを利用した実験結果について報告する。提案手法は、ARシステムにおける注釈情報の獲得手法と位置付けられる。ネットワークを介して注釈情報を獲得するため、ARシステム自体には実物体を検出するためのカメラを必要としない。また、注釈対象の位置が実時間で更新できる特徴を持つ。

以下、2節ではユーザ情報管理サーバとハイブリッドP2Pを利用した動的シーンへの注釈付けの概要について、3節では注釈付加画像の作成を行う実験について、4節では本論文のまとめ及び今後の課題について述べる。

2. ユーザ情報管理サーバとハイブリッドP2Pを利用した注釈付け

2.1 ネットワークを利用した注釈付加画像の作成

移動可能なウェアラブルシステムユーザへの注釈付けを実現するために、本研究では、ネットワークを介した情報獲得を行う。ウェアラブル注釈提示システムのユーザの位置・姿勢と、注釈対象であるウェアラブルシステムのユーザの位置が得られているとき、図1に示すように、ユーザ視界中の注釈対象の位置に注釈画像を重畳することで、人物に対する注釈付加が行える。

しかしこのような手法では、注釈提示システムのユーザが現実環境を見ている時刻と、ネットワークを介して獲得した注釈対象の位置の計測時刻が異なり、その時刻差に起因する位置の誤差が発生する。図2は、ビデオスルー型の注釈提示システムにおいて、ネットワークを介してカメラに写るウェアラブルシステムのユーザ頭部の位置を獲得して、頭頂部に注釈を付加した場合に得られる注釈付加画像の例を模式的に示したものである。注釈の描画位置とユーザ頭部の位置は時刻差の影響により一致しておらず、このような状態では正確な注釈付けは困難である。ユーザが動的である場合、一般に位置の誤差の大きさは、時刻差の大きさに比例する。

2.2 システムの設計方針

ARを利用した注釈提示システム(以下、“注釈提示システム”と表記)が注釈対象であるウェアラブルシステムのユーザ(以下、“ウェアラブルシステムユーザ”と表記)に注釈付けを行う際には、以下の3種類の情報が必要である。

1. 注釈提示システムのユーザの位置・姿勢
2. ウェアラブルシステムユーザの個人情報
3. ウェアラブルシステムユーザの現在位置

本研究では、上記の3種類の情報のうち、注釈提示システムのユーザの位置・姿勢は、システム自身が持つ自己位置・姿勢計測手段で計測することを前提としている。また、ウェアラブルシステムユーザの個人情報、及び現在位置に関しては、ネットワークを介して外部より獲得する。例えば、図1の例では、ユーザの個人情報として名前を表記した画像を用いており、正しい位置に注釈を描画するために、注釈提示システムのユーザの位置・姿勢、及びウェアラブルシステムユーザの現在位置を利用している。ユーザの個人情報及び現在位置は、時間経過とともに更新されるため、注釈提示システムが注釈付けを行う際には、最新の情報を獲得する必要がある。一般に、ユーザの個人情報は更新頻度が低いため、情報の獲得方法には信頼性を重視す

るべきである。また、位置情報は実時間かつ高頻度で更新される情報であり、注釈を正しい位置に提示するためには、通信方法には実時間性を重視すべきである。以上の観点から、個人情報クライアントサーバ通信で定期的に獲得を行い、ユーザ位置情報は、P2P 通信で獲得する手法が有効であると考えられる。P2P 通信は、サーバを介さずにクライアント間で直接通信を行う方式であり、通信経路が短いことや、データベースへの情報の保存、データベースからの情報参照が必要ないため、低遅延かつ高頻度な情報の通信ができる。

ただし、環境中のネットワーク環境及び各ユーザの持つウェアラブルシステムの性能には限界があり、位置情報の獲得をクライアント間 P2P 通信を介してのみで実施することは困難である。したがって、各クライアントの通信状況及び性能を把握して P2P 通信の管理を行う必要がある。また、P2P 通信を介した位置情報の獲得が行えないクライアントに対しては、サーバからの位置情報の送信を行う必要がある。一般に、P2P の方式としては、サーバレス型のピュア P2P と、サーバを用いてクライアントの管理を行うハイブリッド P2P がある。ピュア P2P とは、P2P 通信を管理するサーバが存在せず、クライアント間のみの通信を行う方式であり、サーバを設置するコストが不要であるという利点があるが、ローカルエリア内全体の通信量やセキュリティの管理が困難であることや、情報の共有や探索を行うために必要な通信の量が膨大であるという欠点がある。一方、ハイブリッド P2P は、サーバの設置コストが必要ではあるが、セキュリティを伴った P2P 通信の管理や情報の共有が合理的にできるという特徴をもっている。本研究においては、P2P 通信の管理を行う必要があることと、サーバからの情報送信が必要であるという観点からハイブリッド P2P を用いる。

通常、ハイブリッド P2P を使用するためにはサーバを準備する必要があるが、本研究では従来研究によって提案されている、注釈を提供するためのネットワーク共有データベース [13] を格納するサーバに、ハイブリッド P2P の管理機能を持たせることが出来るため、合理的にハイブリッド P2P を実現できる。

このような背景から、提案手法では、無線ネットワークが利用可能な環境を前提とし、環境中にはユーザ情報を管理するサーバを設置する。そして、設置されたサーバはネットワーク共有されたデータベースを保持し、以下の 2 つの機能を有する。

1. 各ユーザの注釈情報及び位置情報の提供
2. クライアント間 P2P 通信の管理

共有データベースでは、ウェアラブルシステムユーザの個人情報や位置情報といった、各々のプライバシー

に関わる情報を取り扱う。したがって、共有データベースの設計にはセキュリティやプライバシーへの配慮が必要である。提案システムでは、これらの問題を考慮した従来研究 [13] の注釈情報データベースの設計をユーザ情報管理サーバ内のデータベースに適用する。これにより、上記 1 の機能を満たす。次に、上記 2 の機能を実現するために、P2P 通信管理ソフトウェアをサーバに設置する。なお、P2P 通信には実時間性を重要視するため、コネクションレス型で一方方向の情報送信を行う UDP プロトコルを用いる。また、ユーザ情報管理サーバ内のデータベースでユーザの ID と使用 IP アドレスの情報を一括管理し、クライアントからのリクエスト状況に応じて、P2P 通信の開始・終了タイミングの管理を行う。

以下、2.3 節では提案システムの概要について、2.4 節ではクライアントとユーザ情報管理サーバ間における情報の登録及び獲得について、2.5 節では注釈提示システムによるウェアラブルシステムユーザの位置情報の獲得について、2.6 節では P2P 通信の管理手法についてそれぞれ詳述する。

2.3 提案システムの概要

提案システムの概要を図 3 に示す。本システムは、ユーザ情報管理サーバ、定点カメラシステム、ウェアラブルシステムの 2 種類のクライアントとから構成される。以下に、それぞれのシステムについて述べる。

● クライアント

本システムでは、無線ネットワークの利用及び、自己の位置・姿勢計測が可能なウェアラブルシステムユーザが複数存在する環境を想定している。また、注釈付加画像を作成するシステムとして、ウェアラブルシステムと定点カメラシステムの 2 種類の注釈提示システムを想定している。ウェアラブルシステムは環境中のユーザ間のコミュニケーション開始支援や協調作業への応用を、定点カメラシステムは監視カメラなどのセキュリティサポートなどへの応用を、それぞれ想定している。

各クライアントは、他のクライアントの注釈情報の閲覧を希望する場合には、サーバに対してリクエストを送信する。その後、各クライアントの個人情報及び現在位置を獲得し、注釈付加画像を作成する。

● ユーザ情報管理サーバ

環境内のすべてのユーザの個人情報及び位置情報は、ユーザ情報管理サーバ内の共有データベースで管理する。サーバは、表 1, 2, 3 に示すユーザ情報テーブル、注釈情報テーブル、位置情報テーブルから構成される共有データベースを用いて、ユーザの個人情報を管理する。

また、表 4 に示す注釈情報リクエストテーブルを

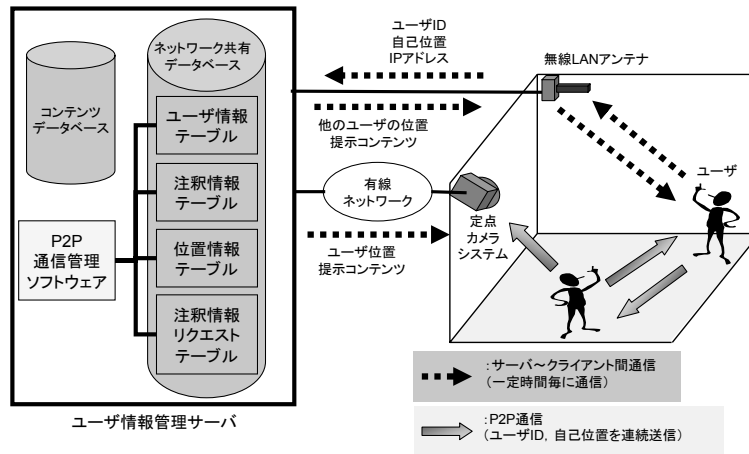


図3 提案システムの概要
Fig. 3 Overview of the proposed annotation overlay system.

用いて、各クライアントの注釈情報閲覧リクエスト状況を管理する。注釈情報リクエストテーブルでは、各クライアントの注釈情報閲覧希望対象の情報を管理している。表4は、存在クライアント数が5である状況を示しており、クライアントAは、クライアントB及びクライアントDの注釈情報をリクエストしていることを表している。

P2P通信の管理は全て、サーバ内のP2P通信管理ソフトウェアによって行われる。P2P通信管理ソフトウェアは、サーバ内の各テーブルの情報を用いて、各々のクライアントがP2Pで位置情報を送る宛先を動的に決定し、P2P位置情報送信リストを作成する。P2P位置情報送信リストの内容については、次節において詳細に述べる。

注釈提示に必要な画像、動画等のコンテンツは全て、サーバ内のコンテンツデータベースで管理されている。各クライアントは、自身のコンテンツのみを自由に登録・更新することができる。

2.4 クライアントとユーザ情報管理サーバ間における情報の登録及び取得

ユーザの持つウェアラブルコンピュータは、固有のユーザIDを保持している。各ユーザの持つウェアラブルシステムは、計測した自己位置を無線ネットワークを介して、ユーザID、IPアドレスと共に一定時間毎にユーザ情報管理サーバに自動送信する。ユーザ情報管理サーバ内のユーザ位置情報テーブルは、各ユーザより受信した現在位置情報を用いて更新される。また、クライアントからは、各クライアントがリクエストを出したタイミングで注釈の閲覧希望リクエストが送信される。ユーザ情報管理サーバ内の注釈情報リクエストテーブルは、各クライアントより受信したリクエストを用いて更新される。

ユーザ情報管理サーバでは、表5に示すP2P位置

表1 ユーザ情報テーブル
Table 1 User information table.

ID	Password	所属グループ	IPアドレス
User A	aaa	Group A	163.221....
User B	BBBB	Group D	163.221....
User C	cCcC	---	163.221....

表2 注釈情報テーブル
Table 2 Annotation table.

ID	注釈ID	注釈閲覧許可	P2P通信許可
User A	A001	User B, C	User B
User B	B001	User C	User C
User C	C001	Group A	User B

表3 位置情報テーブル
Table 3 Position table.

ID	X	Y	Z	更新時刻
User A	0.2	1.0	1.1	2006/08/10 9:00:00
User B	-3.2	15.3	1.2	2006/08/09 19:39:11
User C	3.6	8.8	1.0	2006/08/11 13:54:53

情報送信先リストを作成する。P2P位置情報送信先リストはP2P通信管理ソフトウェアによって各ウェアラブルシステム向けに別々に作成されたものであり、データをP2Pで連続送信する送信先のクライアントアドレスが記載されている。P2P位置情報送信先リストは、ユーザ情報管理サーバ内の各テーブルの内容を元に、どのユーザからどのクライアントへのP2P位置情報送信を行うかを決定した上で更新される。

ウェアラブルシステムは、P2P位置情報送信先リストを一定時間毎にユーザ情報管理サーバから自動的に取得する。その後、リストに記載されているクライアントアドレスに向けて、計測した自己位置情報をP2Pで連続送信する。

表 4 注釈情報リクエストテーブル
Table 4 Annotation request table.

リクエスト先 リクエスト元	A	B	C	D	E
Client A		○	×	○	×
Client B	○		×	×	○
Client C	○	×		○	×
Client D	○	○	×		×
Client E	○	×	×	×	

2.5 注釈提示システムによるウェアラブルシステムユーザの位置情報の獲得

本節では、注釈提示システムがウェアラブルシステムユーザの位置情報を取得する処理の手順を示す。処理は、1:自己位置送信のリクエスト、2:ユーザ認証、3:P2P 通信許可確認、4:注釈情報リクエストテーブルの更新、5:P2P 位置情報送信先リストの作成、6:P2P 位置送信判定、7:自己位置送信命令、8:クライアントによる自己位置送信、9:サーバによるユーザ位置送信の9種類のプロセスから構成される。図4に、注釈提示システムをクライアントA、ウェアラブルシステムユーザをクライアントBとして、クライアントAがクライアントBの注釈情報の閲覧をリクエストするケースを例として、それぞれのプロセスについて述べる。

1. 自己位置送信のリクエスト

クライアントAは、まずユーザ情報管理サーバに対して、クライアントBの注釈情報閲覧のリクエストを出す。リクエストは、各クライアントが任意のタイミングで送信可能である。リクエストを出す際には、システムの持つユーザID及びパスワードが同時に送信される。

2. クライアント認証

クライアントAからのリクエストに対し、サーバは、クライアントAから送信されたIDとパスワードとを照合し、一致した場合のみクライアントAを認証し(3)へ進む。

3. 注釈閲覧許可確認

クライアントBが注釈情報の閲覧を許可しているメンバの中にクライアントAが含まれるか否かが確認され、許可されている場合のみ(4)へ進む。

4. 注釈情報リクエストテーブルの更新

クライアントAから送信されたクライアントBの注釈情報閲覧リクエスト情報を元に、表4に示した注釈情報リクエストテーブルが更新される。

5. P2P 位置情報送信先リストの作成

ユーザ情報管理サーバ内では、表4に示す注釈情報リクエストテーブルを用いて、クライアントAに送信するP2P位置情報送信先リストが作成される。その際、どのクライアントを送信先リストに掲載するかの判定は、P2P通信管理ソフトウェアで行わ

表 5 P2P 位置情報送信先リスト
Table 5 P2P destination list.

送信先ID	IPアドレス
Client B	163.221....
Client D	163.221....
Client E	163.221....

れる。

6. P2P 通信実施判定

P2P位置情報送信先リストを参照し、クライアントBからクライアントAへのP2P自己位置送信の実施判定を行う。P2P自己位置送信を実施する場合(7)へ進む。実施しない場合は(8)へ進む。なお、P2P通信実施の判定基準に関しては、2.6節で述べる。

7. クライアントによる自己位置送信

クライアントBは、サーバよりP2P位置情報送信リストを受信し、リスト内で指定されている送信先(この場合は、クライアントA)に向けて自己位置の連続送信を開始する。

8. クライアントBの位置の送信

(6)において、クライアントBからクライアントAに対するP2P位置情報送信を実施しないと判断された場合は、ユーザ情報管理サーバからクライアントAに向けて、クライアントBの位置情報送信が開始される。その際には、位置情報の送信は一定時間間隔で行われる。

なお、ユーザ位置情報の送信終了処理は、クライアントAからサーバに注釈情報閲覧終了のリクエストを出すことにより、開始処理と同様に行われる。

2.6 P2P の管理

ユーザ情報管理サーバの管理する環境では無線ネットワークが利用可能であることを想定しているが、その通信速度には限界があるため、すべてのクライアント間にP2P通信を許可することは出来ない。P2P通信管理ソフトウェアは、環境全体のネットワーク負荷、および各クライアントの性能を考慮したP2Pの調整を行う。以下、本節ではサーバの管理する通信量、クライアントの性能と通信量に関してそれぞれ述べ、最後にP2Pの管理方法について述べる。

● サーバ

提案手法においては、サーバはP2Pで位置情報の送信可能なクライアント数を常に把握している。また、サーバでは環境中でUDPプロトコルを利用したP2P通信に使用可能な情報通信量の上限が設定されており、その上限をもとに、1クライアントあたりが送信可能な位置情報の量を制限する。サーバの管理するクライアント数を N 、使用可能な情報通信量の上限を I_{max} (bps)とすると、1クライアント

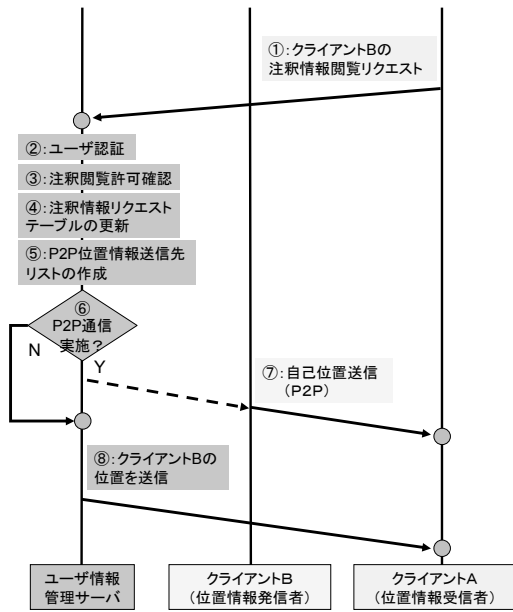


図 4 P2P 通信を用いたユーザ位置取得の処理手順
 Fig. 4 A procedure of obtaining user's position via P2P communication.

トあたりにおける単位時間中の位置情報の送信量の上限は、

$$\frac{I_{max}}{N} \tag{1}$$

となる。

• クライアント

一方、注釈対象となる各クライアントは、それぞれのシステムが性能にもとづいた異なる周期で位置計測を行うため、1 件のリクエスト先に単位時間あたりに送信する位置情報の量が異なる。個々のクライアントの ID を 1 ~ N とし、一度に送信する位置情報の量を a (bit)、ID が i のクライアントの一秒間当たりの位置計測回数を b_i (回)、送信先の数を n とすると、あるクライアントが一秒間に送信する情報量の合計は

$$a \cdot b_i \cdot n \tag{2}$$

となる。

• P2P の管理手法

提案手法では、各クライアントの送信先、および送信先数をリクエスト状況をもとに決定する。まず、送信先の数の上限 n_{max} を決定する。 n_{max} は、前述の式 (1)、(2) より、以下の不等式を満たす最大の整数である。

$$\sum_{i=1}^N a \cdot b_i \cdot n_{max} < \frac{I_{max}}{N} \tag{3}$$

本式を n_{max} について整理すると、以下の式が得られる。

$$n_{max} < \frac{I_{max}}{a \cdot \sum_{i=1}^N b_i \cdot N} \tag{4}$$

したがって、各クライアントの送信先数の上限は、式 (4) を満たす n_{max} の中で最大の整数となる。P2P 通信管理ソフトウェアでは、P2P 通信の実施判定を、 n_{max} にもとづいて行う。リクエスト数が n_{max} までの場合には P2P 通信を許可し、送信先数の上限を超えるリクエストを行ったクライアントに対して、サーバからの位置情報送信が行われる。

3. 実験

3.1 実験環境

図 5 に、実験環境を示す。IEEE802.11g で通信速度が 54Mbps の無線 LAN の使用可能な本学屋内に、共有データベース、コンテンツデータベース、及び P2P 通信管理ソフトウェアを格納したユーザ情報管理サーバを設置し、有線で学内 LAN に接続した。次に、ノート PC と USB カメラを用いて定点カメラシステムを作成し、実験環境中に設置した。また、赤外線カメラと不可視マーカを用いたユーザの位置計測手法 [17] を利用するために、特性の異なる 2 種の赤外線カメラを用意し、環境中の天井には不可視マーカを貼った。本実験ではまず、手法 [17] により位置・姿勢が計測できる 4 人のウェアラブルシステムユーザ (A, B, C, D) で環境中を歩き回り、定点カメラシステムでユーザの名前が記載された画像を注釈とした注釈付加画像を作成した。4 名のユーザの名前はそれぞれ、A : K.Makita, B : Y.Nakazato, C : Y.Nishina, D : H.Mito である。次に、ウェアラブル注釈提示システムを用いて注釈付加画像を作成した。

本実験では、2 種類の赤外線カメラ (以下、カメラ 1, カメラ 2 と表記) を使用しており、ユーザ A, B はカメラ 1 を、ユーザ C, D はカメラ 2 を、それぞれ使用して位置・姿勢計測を行う。表 6 に、カメラ 1, カメラ 2 のスペックを示す。カメラ 1 はビデオシースルー型 AR システムに利用可能な前方撮影用カメラを内蔵した大型カメラである。また、カメラ 2 は、小型軽量に特化された赤外線カメラである。また、図 6 に本実験で用いたウェアラブル注釈提示システムの機器構成を示す。また、本実験で用いたサーバ及び定点カメラシステムの構成を表 7 に示す。

注釈付加画像を作成するには、各クライアントシステムが持つカメラの位置・姿勢情報が必要である。そこで、定点カメラシステムでは、設置時にあらかじめ計測しておいた位置・姿勢情報を利用した。また、ウェアラブル AR システムで注釈付加画像の作成を行う際には、前述の手法 [17] により計測される位置・姿勢情報を利用した。

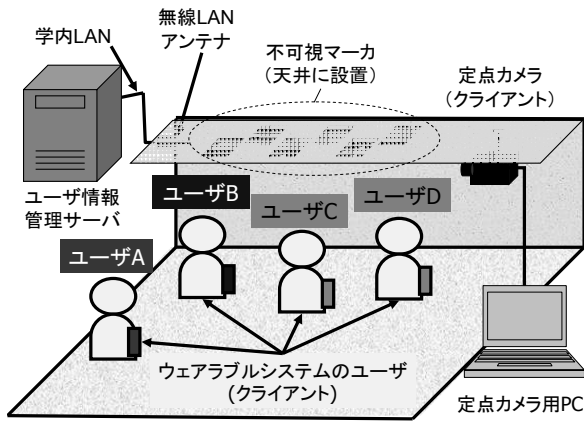


図 5 実験環境

Fig. 5 Experimental environment.

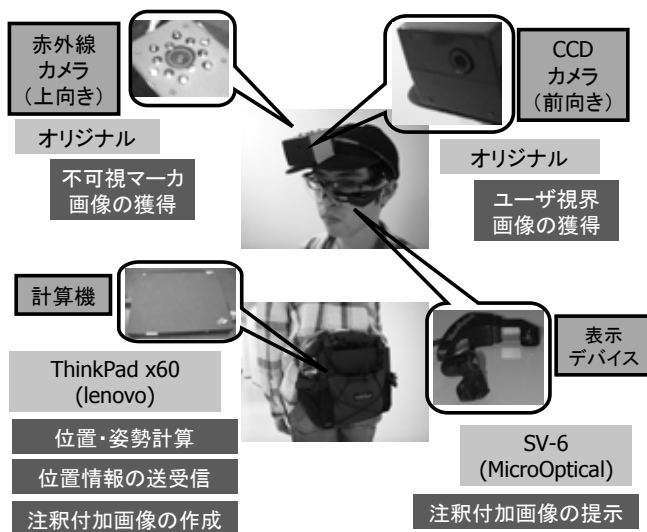


図 6 ウェアラブル注釈提示システムの機器構成

Fig. 6 Hardware configuration of wearable annotation overlay system.

ウェアラブルシステムユーザ A, B は秒間およそ 29 回、ユーザ C, D は秒間およそ 20 回の間隔で位置・姿勢の推定ができる。また、自己位置情報の送信には UDP/IP パケットを使用しており、一度のデータ送信量は 56byte (IP ヘッダ: 20byte, UDP ヘッダ: 8byte, データ部: 28byte (ID: 4byte, 位置情報: 24byte)) である。よって、P2P 通信における、位置情報の送信速度は、ユーザ A, B は $56 \times 8 \times 29 = 12.992$ (kbps)、ユーザ C, D は $56 \times 8 \times 20 = 8.96$ (kbps) である。参考値として、無線 LAN の速度が 54Mbps の本環境において、使用可能な通信量の合計 I_{max} を 54Mbps と設定した場合には、秒間 29 回の位置推定を行う全てのユーザ間で P2P 通信を実施可能なユーザ数の上限は 64 人となる。

なお、本実験では、使用可能な通信量の合計 I_{max} を 10Mbps に設定した。

3.2 注釈付加画像の作成方法

図 7 に、現実空間中に存在するウェアラブルシステムユーザとカメラ画像の関係を模式的に示す。提案手法では、注釈提示システムが現実空間中に存在するウェアラブルシステムユーザの 3 次元位置を取得し、カメラ画像中におけるユーザの位置が 1 点決定する。本実験において、各ユーザは頭部に装備した赤外線カメラの位置を自己位置として送信しているため、図 7 中に示されたユーザ位置はユーザの頭頂部付近を示している。そこで本実験では、注釈画像をカメラ画像中のユーザ位置から画像内において上方向に一定距離離れた位置に重畳表示し、さらに注釈画像とユーザ位置とを結ぶ直線を描画して注釈付加画像の作成を行った。

3.3 従来手法と提案手法の比較実験

従来手法であるクライアントサーバ通信を利用した注釈提示と、提案手法であるハイブリッド P2P を利用した注釈提示の精度を比較するために、定点カメラシステムを用いてユーザ位置の重畳表示実験を行った。なお、ピュア P2P を利用して実験を行った場合には、通信遅延、更新頻度はハイブリッド P2P を利用した場合と同等であり、注釈付けの精度はハイブリッド P2P を利用した場合と同等の結果が得られると想定される。

本実験では、カメラを床から約 165cm の高さに固定し、カメラからの距離が約 5m の直線上を、ユーザ A がおよそ毎秒 60cm の速さで歩いた。画像内において、ユーザ A は右から左へと移動している。図 8 に、獲得したユーザの位置を縦の直線と横の直線の交点として重畳表示した結果を示す。

クライアントサーバ通信時のユーザ位置情報の更新頻度はおよそ毎秒 1 回であり、また、ユーザ位置の計測時刻と、定点カメラシステムが位置情報を受信する時刻の差はおよそ 3 秒程度であった。クライアントサーバ通信時の結果からは、直線の交点とユーザ頭部のカメラとの大きな位置ずれが確認できる。しかし、P2P 通信時には、ウェアラブルシステムからは P2P 通信でおよそ毎秒 29 回、通信遅延はおよそ 4 ミリ秒で位置が送信されており、直線の交点とユーザ頭部のカメラとの位置ずれがほぼ無いことが確認できる。次に、位置推定の誤差による影響と遅延時間による影響を比較する目的で、直線上の約 120cm 間隔で 6 箇所の静止位置を設定し、各位置でユーザが静止して通信を停止した場合の位置ずれを計測し、クライアントサーバ通信時、P2P 通信時で歩行した場合と比較を行った。位置ずれの大きさは、画像上の直線の交点及びユーザ頭部のカメラの 2 次元座標を手動で与え、2 点間の距離を計算して求めた。計算に使用したフレーム数は、クライアントサーバ通信時、P2P 通信時でそれぞれ 120 フレーム、静止時は 6 フレームである。位置ずれ

表 6 赤外線カメラのスペック

Table 6 Hardware configuration of infrared cameras.

	解像度(pixel)	フレームレート(fps)
カメラ1	1024 × 768	29
カメラ2	640 × 480	20

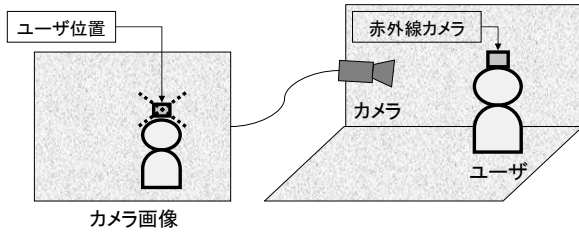


図 7 ウェアラブルシステムユーザとカメラ画像の関係

Fig.7 Relation between the user and the camera image.

の大きさの算出結果を表 8 に示す。なお、本実験では、カメラ画像の解像度は 640 × 480 画素であり、およそ 15 フレーム毎秒で画像が作成された。

3.4 定点カメラシステムを用いた注釈付加画像作成

図 9, 10 に、定点カメラシステムで撮影した映像を用いて作成した注釈付加画像を示す。本実験では、およそ 15 フレーム毎秒で注釈付加画像が作成された。本実験では、ユーザ 3 名 (A, B, C) で、天井付近に設置した定点カメラの前方周辺を歩き回った。図 9 に、定点カメラシステムから 3 名の注釈閲覧リクエストを送信し、提案手法により位置情報を獲得して作成した注釈付加画像を示す。図 9(a),(b),(c) の画像作成時、ユーザ A, B からは P2P 通信でおよそ毎秒 29 回、ユーザ C からはおよそ毎秒 20 回で位置が送信されており、通信遅延はおよそ 4 ミリ秒であった。図 9 の結果からは、環境中を歩行するユーザに対してほぼ位置ずれの無い注釈付けが可能であることを確認できる。次に、クライアントサーバ通信を利用した注釈付けと P2P 通信を利用した注釈付けの比較を行う目的で、クライアントサーバ通信による位置獲得と、P2P 通信による位置獲得をそれぞれ異なるタイミングで一定間隔で切り替えた実験結果を図 10 に示す。図 10 においては、クライアントサーバ通信による位置情報の更新はおよそ毎秒 1 回、ユーザ位置の計測時刻と、定点カメラシステムが受信する時刻の差はおよそ 3 秒程度であった。図 10 の画像からは、P2P 通信を利用した注釈付けに比べて大きな位置ずれが見られる。図 10(b) 中の注釈“ Y.Nishina ”や、図 10(c) 中の注釈“ K.Makita ”は位置ずれが大きく、シーン中のどのユーザに対する注釈であるかは理解困難である。

表 7 サーバ及び定点カメラシステムの構成

Table 7 Hardware configuration of server and fixed camera system.

	使用機器	スペック
ユーザ情報管理サーバ	PC	CPU:Pentium D 3.0GHz メモリ:3.25MB 1Gbps Ethernet接続
定点カメラシステム	PC	CPU:Pentium M 1.2GHz メモリ:1.0GB 54Mbps Ethernet接続
	ビデオカメラ	Qcam QVX-13NS (Logicool) 最大有効画素数:960 × 720

表 8 位置ずれの大きさの算出結果

Table 8 Errors in received position of the user.

	クライアントサーバ	P2P	通信無し
平均誤差[画素]	141.4	13.6	7.1
最小誤差[画素]	11.4	5.1	2.0
最大誤差[画素]	262.1	22.8	15.5

3.5 ウェアラブルシステム同士での注釈付加画像作成

図 11 に、ウェアラブルシステムで撮影した映像を用いて作成した注釈付加画像を示す。本システムでは、およそ 30 フレーム毎秒で注釈付加画像が作成された。本実験では、4 人のユーザが共に環境内を歩き回りながら、ユーザ A からユーザ B, C, D の注釈閲覧リクエストを送信した。なお、注釈の提示方法は定点カメラシステムでの実験と同様である。また、ユーザ B はおよそ毎秒 29 回、ユーザ C, D はおよそ毎秒 20 回で位置を送信している。また、通信遅延はおよそ 4 ミリ秒である。図 11(a),(b),(c) は、ユーザ A に提供された注釈付加画像である。いずれの注釈付加画像においても、撮影画像内に存在するユーザに対して正しく注釈付けがされており、ウェアラブルシステム同士においても注釈付加画像作成が可能であることを確認した。

4. まとめ

本稿では、ハイブリッド P2P を利用し、ネットワークを介した位置情報の獲得によるウェアラブルシステムユーザへの注釈付け手法を提案した。移動可能なユーザへの注釈付けを行う目的で、従来、共有データベースを利用したクライアントサーバ方式の情報獲得フレームワークが提案されていた。本論文では、ネットワークを利用して獲得する情報を、ユーザの個人情報とユーザの現在位置の 2 種類に分類し、実時間性を重要視すべき位置情報の獲得に P2P 通信を適用することで、注釈の位置ずれの大幅な縮小を実現した。

ユーザ情報管理サーバ内にネットワーク共有型データベースを構築して、環境中を移動するユーザを定点カメラで撮影し、P2P 通信により位置情報の更新頻度の向上及び通信遅延の低減を行うことで、位置ずれが小さい注釈付加画像が作成できることを確認した。ま

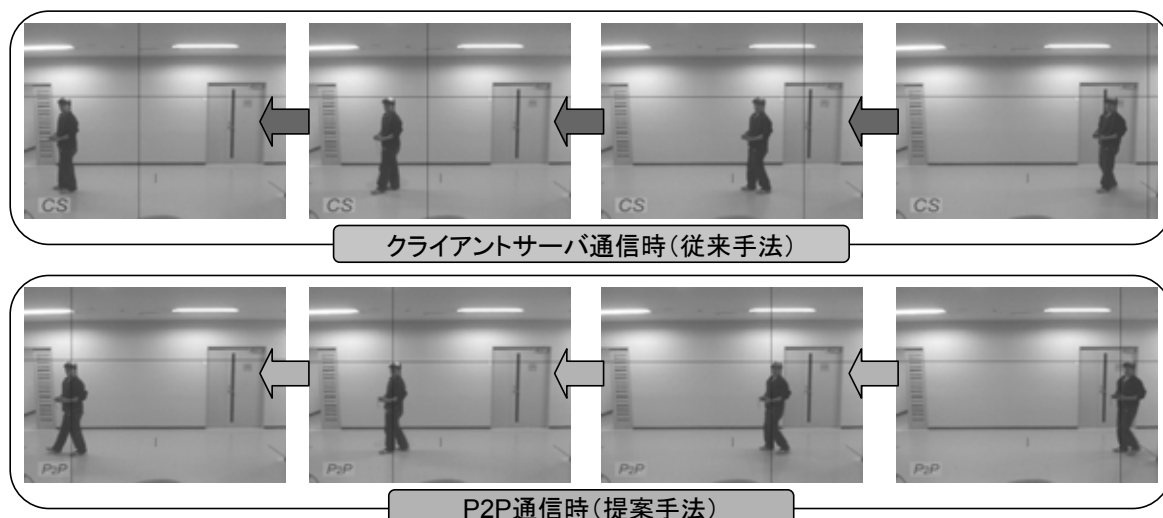


図 8 獲得したユーザ位置の重畳表示結果

Fig. 8 Position overlay images generated by fixed camera system.

た，ウェアラブルシステム同士で P2P 通信を行った際にも大きな位置ずれがなく，注釈と注釈対象の関連付けが容易に理解可能な注釈付加画像を提示できることを確認した。

今後の課題として，カメラに写ったユーザ位置の補間が挙げられる．ユーザの位置・姿勢計測の一時的な失敗や無線ネットワークの調子の悪化等により，位置情報の受信が断続的な状態に陥る場合が考えられる．このような場合に，受信データとカメラ画像処理を組み合わせたユーザ位置の推定を行うことを試みる予定である．

また，注釈付加画像中において，注釈同士の重なりや，注釈と他の注釈対象の重なりが発生すると注釈が理解しにくい場合がある．そこで，合成画像上における描画方法の工夫（ビューマネージメント）を行うことで，ユーザがより直感的に情報が理解しやすい注釈付加画像を作成できると考えられる．今後は，ユーザの姿勢や形状を取得できるフレームワークを構築し，動的環境における注釈のビューマネージメントを検討する予定である．

謝辞

本研究の一部は，総務省・戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の支援による．

参考文献

[1] S. Mann: "Wearable Computing: A First Step Toward Personal Imaging," IEEE Computer, Vol.30, No. 2, 2002.
 [2] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and A. Webster: "A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment", Proc. 1st Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 74-81, 1997.
 [3] R. Azuma: "A Survey of Augmented Reality,"

Presence, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
 [4] B. H. Thomas, V. Demczuk, W. Piekarski, D. Hepworth, and B. Gunther: "A Wearable Computer System with Augmented Reality to Support Terrestrial Navigation", Proc. Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 168-171, 1998.
 [5] M. Kourogi, T. Kurata, and K. Sakaue: "A Panorama-based Method of Personal Positioning and Orientation and Its Real-time Applications for Wearable Computers", Proc. 5th Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 107-114, 2001.
 [6] B. Bell, S. Feiner and T. Höllere: "Information at a glance," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 22, No. 4, pp. 6-9, 2002.
 [7] R. Azuma and C. Furmanski: "Evaluating Label Placement for Augmented Reality View Management," Proc. 2nd Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 03), pp. 66-75, 2003.
 [8] R. Tenmoku, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Annotating user-viewed objects for wearable AR systems", Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 05), pp. 192-193, 2005.
 [9] 米村, 和田, 伴, 佐藤, 千原: "携帯型コンピュータによる強調現実感空間の共有", 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol. 3, pp. 307-308, 1998.
 [10] M. Fiala: "Webtag: A World Wide Internet Based AR System", Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 07), pp. 263-264, 2007.
 [11] 尾関, 伊藤, 里, 中村, 大田: "複合コミュニティ空間における注目の共有 ~ 注目誘導行動による物体への注釈付け ~", 日本バーチャルリアリティ学会論文集, Vol. 8, No.4, pp. 369-378, 2003.
 [12] J. Mooser, S. You, and U. Neumann: "Real-Time Object Tracking for Augmented Reality Combining Graph Cuts and Optical Flow", Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 07), pp. 145-152, 2007.
 [13] K. Makita, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Shared annotation database for networked wearable augmented reality system", Proc. 5th Pacific Rim Conf. on Multimedia, Vol. 3, pp. 499-507, 2004.
 [14] 高田, 町田, 清川, 竹村: "ネットワーク共有型ウェアラブル拡張現実感システム開発用ライブラリ", 電子情報通信学会 総合大会講演論文集, pp. 345, 2004.

- [15] 穴吹, 天目, 神原, 横矢: “データベース共有型ウェアラブル拡張現実感を用いたウェアラブルユーザへの注釈付け”, 日本バーチャルリアリティ学会 サイバースペースと仮想都市研究会 研究報告, Vol. 10, No. 1, pp. 27-32, 2005.
- [16] 天目, 穴吹, 神原, 横矢: “共有データベースを利用したウェアラブルユーザへの注釈付け”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005) 講演論文集, pp. 1598-1599, 2005.
- [17] Y. Nakazato, M. Kanbara, and N. Yokoya: “Wearable augmented reality system using invisible visual markers and an IR camera”, Proc. IEEE Int. Symp. on Wearable Computers, pp. 198-199, 2005.

(2007年12月11日受付)

[著者紹介]

牧田 孝嗣 (学生会員)



2004年奈良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。住友電気工業株式会社勤務を経て、現在、奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程に在学中。ウェアラブル拡張現実感システムに関する研究に従事。修士(工学)。電子情報通信学会, IEEE各学生会員

神原 誠之 (正会員)



2002年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。同年同大情報科学研究科助教, 現在に至る。コンピュータビジョン, 複合現実感の研究に従事。博士(工学)。1999年電子情報通信学会学術奨励賞受賞。FIT2005論文賞受賞。日本バーチャルリアリティ学会, 情報処理学会, IEEE各会員。

横矢 直和 (正会員)



1974年大阪大学基礎工学部情報工学科卒。1979年同大学院博士後期課程修了。工博。同年電子技術総合研究所入所。以来, 画像処理ソフトウェア, 画像データベース, コンピュータビジョンの研究に従事。1986~87年マツギル大・知能機械研究センター客員教授。1992年奈良先端科学技術大学院大学・情報科学センター教授。現在, 同大情報科学研究科教授。1990年, 2007年情報処理学会論文賞受賞。2005年情報処理学会フェロー, 電子情報通信学会フェロー。情報処理学会, 人工知能学会, 日本認知科学会, 映像情報メディア学会, IEEE, ACM SIGGRAPH各会員。

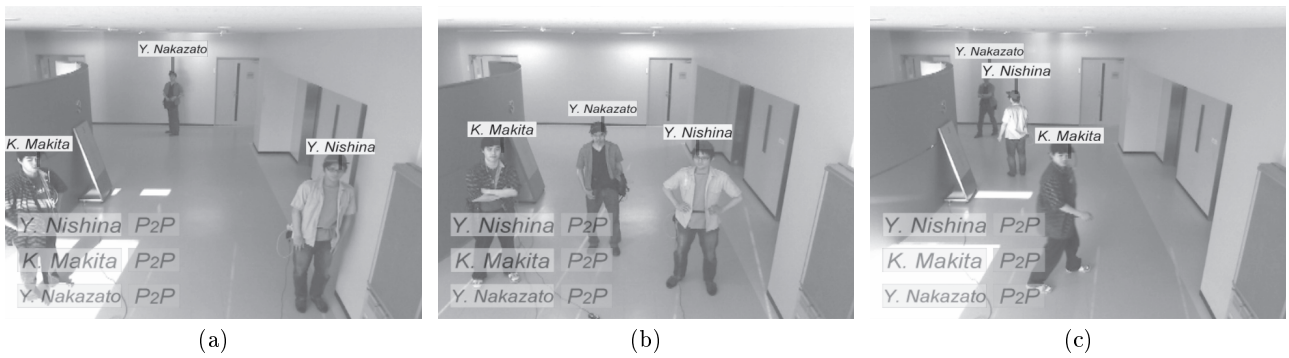


図 9 定点カメラシステムで作成された注釈付加画像 (P2P 通信時)
 Fig. 9 Annotation overlay images generated by fixed camera system using P2P communication.

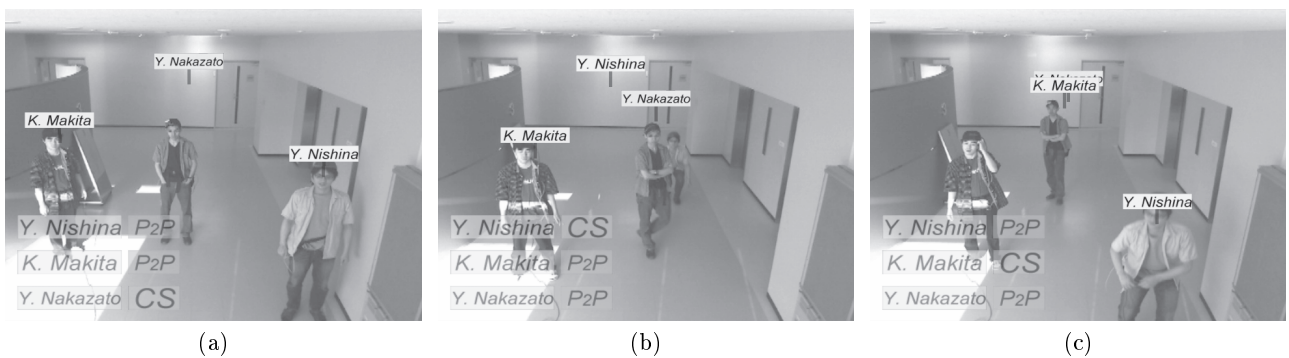


図 10 定点カメラシステムで作成された注釈付加画像 (P2P 通信, クライアントサーバ通信混在時)
 Fig. 10 Annotation overlay images generated by fixed camera system using P2P communication and client server communication.

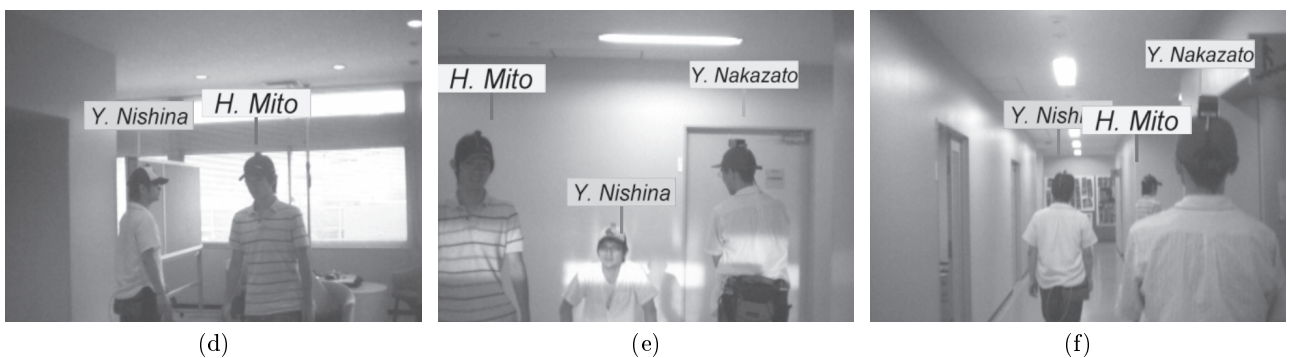


図 11 ユーザ A 視点の映像
 Fig. 11 Annotation overlay images generated by wearable annotation overlay system shown to user A.