

電磁誘導入力デバイスの接近検出による Web ブラウジングの応答時間短縮方式

川本亜紀子^{†1} 中島一彰^{†1}

本稿では、端末画面の数ミリ～数センチ上空から接近するペンや指などの入力デバイスの位置データを用いて画面への接触点を予測し、接触する前に HTTP のアクセスを開始することで、Web サーバからの応答を高速化する方式を提案する。近年、画面に直接触れて操作できるタッチパネルを搭載した情報端末が増えている。タッチパネルで主流となっている静電容量方式と電磁誘導方式は、画面から一定の距離に入力デバイスを近づけると情報端末で入力デバイスの位置を検出できる。提案する方式では、タッチパネルを搭載した汎用的な情報端末で取得できる 2 次元座標の位置データを時系列解析し、タッチパネルへの接触点を高い精度で予測する。タッチパネルが入力デバイスの接近を検出し始めてから 200ms 程度で接触する平均的な手の動きの場合、検出してから 50ms までのデータを用いると、接近直後の 1 点だけで判定する場合に比べて入力位置の判定誤差を 30～40%低減でき、接触する前にアクセスする Web コンテンツを高い精度で特定する。したがって、大幅な遅延が頻繁に発生する移動網やインターネット上でのアクセスに対して提案する方式を適用することで、Web ブラウジングの応答時間を 150ms 短縮できる。

Response Time Reduction Method of Web Browsing by Close Detection of an Electromagnetic-Guidance Pen

AKIKO KAWAMOTO^{†1} KAZUAKI NAKAJIMA^{†1}

This paper proposes a method to reduce web access latency by predicting a contact point on a touch sensor screen and enable to start corresponding HTTP access earlier before actual contact. Our method is utilizing only a functionality of regular touch screens that detect a close object, e.g. a pen and a finger, a few centimeters away from surface of screens. To accomplish the proposed method, we improved touch point prediction method by applying a model of human movement. Our experimental result figured out the proposed method predicts accurately a contact point with 30-40% less judgment error, comparing a prediction method based on equation of uniform velocity motion. By this improvement, response can become approximately 150 ms faster than in the case in which communication processing is performed after an electromagnetic-guidance pen contacts a screen.

1. はじめに

ユーザが期待する Web アクセスの応答時間は段階的に短くなっている[1]。これは、ネットワークやサーバ機器の性能が向上し、ユーザが情報端末を操作してから表示内容が更新されるまでの応答時間が短縮したためと考えられる。しかし、移動網やインターネットでは通信トラフィックの増大による輻輳などが原因で依然として大幅な遅延が発生することがあり、このような通信環境にも対応できる通信制御方式が必要である。

遅延が発生しているネットワーク上で、ほかの通信データを差し置いて優先的に操作データを送信したとしても、応答時間を大幅に短縮することはできない。そこで、先行して HTTP のアクセスを開始することで、操作後の応答時間を短縮する方式を検討した。

近年、画面に直接触れて操作できるタッチパネルを搭載した情報端末が増えている。タッチパネルの種類は静電容量方式と電磁誘導方式が主流となっている。静電容量方式は主にスマートフォンに搭載されている方式で、画面に指

で触れると発生する微弱な電流をセンサで感知し、タッチした位置を特定するものである。電磁誘導方式はペンタブレットの液晶パネルに採用されている方式で、磁界を発生する専用ペンで画面をタッチすることでパネル側のセンサが電磁エネルギーを受け取り、位置を特定するものである。いずれも画面から一定の距離に入力デバイスを近づけると、情報端末側で入力デバイスの位置を検出することができる。提案方式では、画面に入力デバイスが触れるまでのポインティング動作を予測するために、画面の接近検出を用いることとした。

2. 関連研究

提案方式に関連する研究として、ポインティング動作を予測する技術と、Web コンテンツを先行配信する技術の研究がある。

(1) ポインティング動作の予測

ポインティング動作にかかる時間を予測する代表的なモデルとしてフィッツの法則がある[2]。フィッツの法則は、1次元の移動を対象とした単純な運動反応のモデルであり、式(1)を用いてポインティング時間 MT を算出する。 ID はポインティングの困難度を表している。 A は動作の開始点か

^{†1} 日本電気株式会社 クラウドシステム研究所
Cloud System Research Laboratories, NEC Corporation

らポインティングするターゲットの中心までの距離、 W はターゲットの大きさである。 a と b は定数で、 a はポインティングの開始時間、 b は入力デバイスの速度である。

$$MT = a + b * ID, \quad ID = \log_2(2A/W) \quad \dots \text{式(1)}$$

フィッツの法則を2次元平面でのポインティング動作へ適用する研究[3][4][5]や、3次元空間でのポインティング動作へ適用する研究[6][7][8]が盛んに行われている。文献[6]は仮想3次元空間を対象にし、式(1)中のポインティングの困難度 ID を $\log_2(A/(\min(W,H,D))+1)$ に拡張し、式(2)を用いてポインティング時間 MT を算出することを提案している。 W はターゲットの幅、 H はターゲットの高さ、 D はターゲットの奥行き方向の大きさである。

$$MT = a + b * \log_2\left(\frac{A}{\min(W,H,D)} + 1\right) \quad \dots \text{式(2)}$$

特に3次元空間でのポインティング動作を対象とする場合は、入力デバイスの位置について平面のX座標、Y座標に加えて、平面からの距離であるZ座標を測定するために、3次元位置センサなどの特殊な機材を使用することが多い。しかし、一般ユーザがこのような特殊な機材を用意することは考えにくい。多くのユーザが利用しているスマートフォンやタブレット端末は、平面からの距離であるZ座標を取得する機能を持っておらず、ユーザは情報端末に付属するスタイラスペンや手の指を使ってポインティングする。したがって、実用性を考えると、汎用的なスマートフォンやタブレット端末で取得できる2次元座標、つまりX座標とY座標のみを使って、仮想的に3次元空間のポインティング動作を予測することが求められる。

(2) Web コンテンツの先行配信

Web コンテンツの先行配信技術とは、Web ページのリンク先を先読みしてキャッシュする技術である。先読みしたWeb ページは通信状態によらずに安定したレスポンスで閲覧することができる。文献[9]は、帯域制限が厳しい通信環境での先読み技術であり、先読みするページのリクエストサイズに応じて伝送フォーマットや再送要求回数を変え、効率的にWeb コンテンツを先読みすることを示している。文献[10]は、遅延が大きい通信環境での先読み技術であり、常に遅延しているネットワークにおいて、リンク先のWeb ページを代理サーバで先読みし、先読みしたデータをUDPで端末に一括送信することで、Web アクセスが高速になることを示している。既存技術は、ユーザがこれから閲覧する確率と関係なく、Web ページに張られたすべてのリンク先をキャッシュするため、大量のデータが流れ、ネットワークに多大な負荷を与えてしまう。利用可能帯域や遅延の変動が激しいネットワークにおいて、応答性能の劣化を抑えつつ、ネットワークの負荷を抑えるには、先読みが必要

なときにだけ、一部の必要なWeb コンテンツだけを先行配信することが求められる。

3. 入力予兆検出・通信制御方式

Web コンテンツの先読みが必要なときにだけ、一部の必要なコンテンツについてHTTPのアクセスを開始するために、画面への接近検出によって高い精度で接触点を予測し、接触する前にHTTPのアクセスを開始することで、操作後の応答時間を短縮する方式を提案する。

3.1 ポインティング動作の特性分析

Web コンテンツをポインティングするとき、ターゲットのコンテンツを確認しながら手の動きを微調整していることが考えられるため、まずはポインティング動作の特性を分析した。画面から約5mmの位置でスタイラスペンの位置を検出できるスマートフォンを使用して、スタイラスペンの2次元座標のデータを採取した。

3次元空間でのポインティング動作におけるポインティング時間を求めることができる式(2)を用いて、定数の a と b を最小二乗法で回帰分析して求めた。ここで、画面は平面であるため、 D は考慮しないものとする。画面に対して垂直にスタイラスペンを下ろして入力する平均的な動作において、 $a=667.93$ 、 $b=524.92$ が得られた。図1に示すように、寄与率 R^2 は0.259となり、入力デバイスの移動距離が短い今回のような動作にはあまり当てはまらないことが示された。

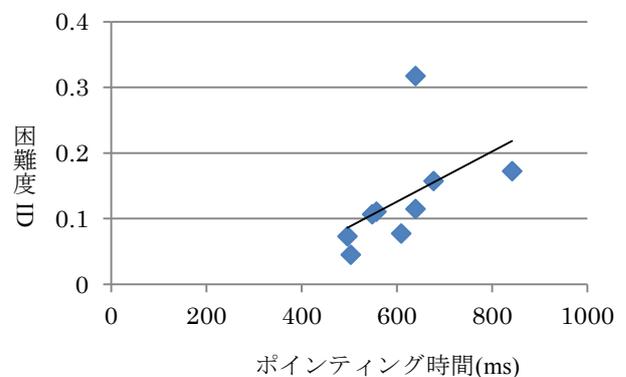


図1 困難度 ID とポインティング時間

次に、手の動きを予測する要素として、入力デバイスの移動速度に着目した。入力デバイスを検出したときに端末で取得できるX座標およびY座標の変移をもとに移動速度を計算する。図2に示すように、画面に接近してから200msまでの間に求めた移動速度とポインティング時間の関係の寄与率 R^2 は0.697となり、フィッツの法則よりも高い相関が得られた。移動速度を求めるために用いる位置データの取得期限を200msとしたのは、移動速度の変移を計算するために検出後2点以上の位置データを取得する必要があるためである。実験に使用した端末は、200msの間に2点以

上の位置データを取得できるものであった。

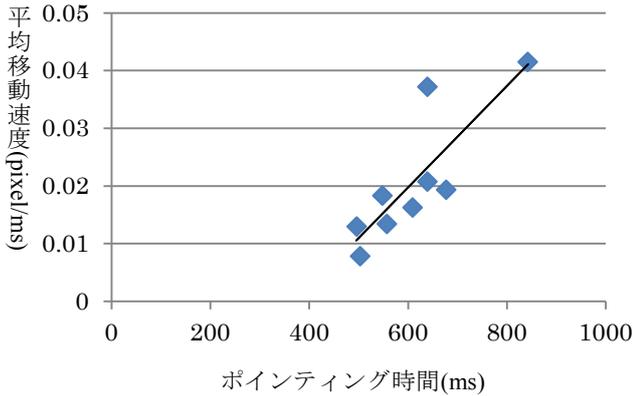


図 2 平均移動速度とポインティング時間

手の動きを予測する要素として、入力デバイスの移動速度が有効であることが確認できたので、接触点の予測にも移動速度の特性が有効である可能性が高いと仮定し、予備実験を行った。画面から約 5mm の位置でスタイラスペンの位置を検出できるスマートフォンで、垂直にスタイラスペンを下ろしてポインティングする動作における移動速度と経過時間との関係の一例を図 3 に示す。入力デバイスが画面に近づくにつれて、移動速度が収束する傾向が見られる。これにより、移動速度の変移を対数近似することで接触時点での移動速度を予測することが可能であると考えた。

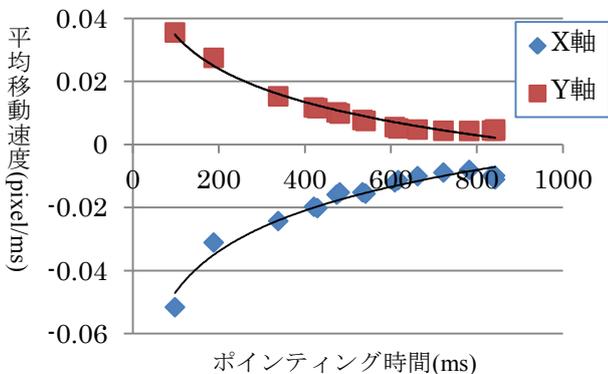


図 3 平均移動速度とポインティング時間

3.2 入力予兆検出方式

まず、入力デバイスの検出直後の移動速度の変移に基づいてポインティング時間を推定する。事前にキャリブレーション機能を用いて画面にポインティングしたときの時系列データを採取し、図 2 のように線形近似した直線の切片 c と傾き d を求める。この結果、式(3)が得られる。 MT はポインティング時間、 TS は入力デバイスを検出してから有効な位置データを取得できるまでの平均移動速度である。有効な位置データとは、例えば、ポインティング動作の軌道を推定するために必要な 2 点以上の位置データである。

$$MT = c + d * TS \quad \dots \text{式(3)}$$

次に、入力デバイスが画面に接近してから接触するまでの軌道をモデル式に当てはめて、接触点を予測する。図 3 のように、X 軸と Y 軸の平均移動速度の変移は異なるため、入力デバイスを検出してから接触点を予測するまでに取得した位置データをもとに、X 軸と Y 軸のそれぞれについて、最小二乗法で回帰分析し、対数関数の切片 e と傾き f を求める。そして、式(4)に示すように、式(3)で得られたポインティング時間 MT での接触点の位置 $P(x,y)$ を算出する。 ET は入力デバイスを検出した最初の位置である。

$$P = (e + f * \ln(MT)) + ET \quad \dots \text{式(4)}$$

3.3 入力予兆検出に基づいた通信制御

入力デバイスの予兆検出に基づいた Web コンテンツの先行配信の実現方法を図 4 に示す。端末内に、入力予兆検出方式を実装した入力予兆検出プログラム、Web コンテンツの先読みを実施する通信制御プログラムとキャッシュ機構を設ける。入力予兆検出プログラムは Web ブラウザの表示領域に重畳するように構成され、Web ブラウザに対する入力デバイスの接近状態を検出する。入力予兆検出プログラムが接触点の予測座標を算出したら、通信制御プログラムが予測座標に配置された表示コンテンツを特定し、該当するコンテンツのリンク先に記された HTTP アクセスを実行する。そして、Web サーバからコンテンツを読み込み、キャッシュに保存する。

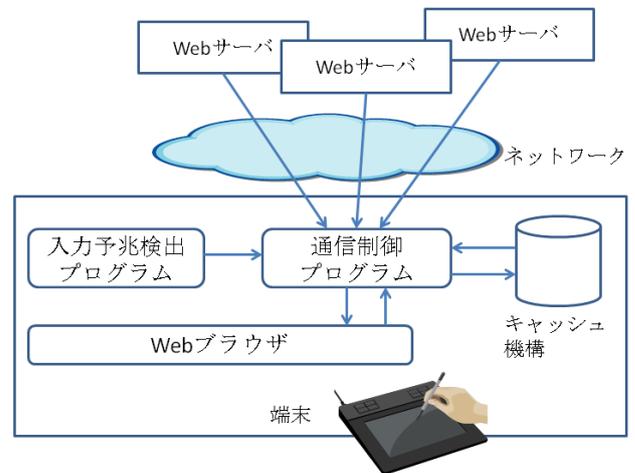


図 4 入力予兆に基づいた先行配信の実現方法

実際に入力デバイスが画面に接触すると、先行した HTTP アクセスが実行中であればその応答を待つ。すでに HTTP アクセスの応答が端末に到着していれば、キャッシュから該当する Web コンテンツを取得して、Web ブラウザに表示する。入力デバイスが画面に接触したものの、タップ動作ではなくドラッグ操作であった場合には通信処理が発生しないので、先読み処理を中断し、キャッシュ済みのコンテンツを破棄する。また、キャッシュされたコンテンツは所定の期間内で保持し、所定の期間内にアクセスされ

なかった場合に自動的に破棄してもよい。余計なコンテンツを残さないようにすることで、キャッシュへのアクセス速度の低下を防ぐことができる。

また、端末と Web サーバの間に中継装置を設置し、キャッシュしたコンテンツを他のユーザと共有することもできる。すでにキャッシュ済みのコンテンツがあれば、より早く Web コンテンツを取得することができる。

図 5 に示すように、入力予兆を検出して接触点を予測してから実際に接触するまでにかかる時間の分だけ早く通信処理を開始できるため、先行した分の時間だけ画面に対する操作のレスポンスを早く返すことができる。

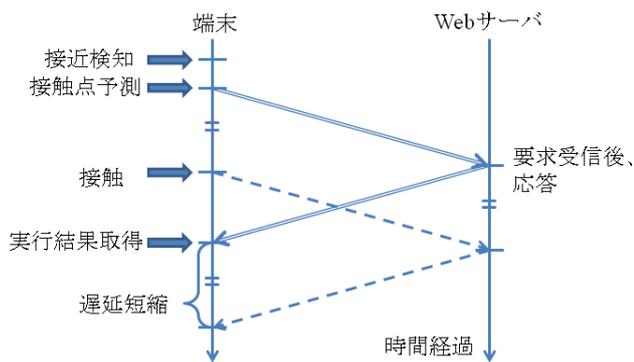


図 5 入力予兆検出に基づく通信制御のフロー

4. 評価実験と考察

画面への接触点の予測精度を確かめるため、汎用的な端末と付属の電磁誘導入力デバイス（スタイラスペン）を使用したポインティング動作の評価実験を行った。

4.1 実験内容

評価実験に使用した端末を表 1 に示す。スタイラスペンを使った操作が可能な 2 種類の端末を用意し、5 人の右利きの被験者に入力操作を行ってもらった。評価実験に使用したスマートフォンは現在多くのユーザに利用されている Android OS を搭載した端末（Samsung 製 GALAXY Note SC-05D）である。このスマートフォンは画面から 5mm 以内の位置にスタイラスペンを近づけると位置データを取得できる。一方、ペンタブレット（WACOM 製 DTU-710）の OS は Windows XP であり、画面から 20mm 以内の位置にスタイラスペンを近づけると位置データを取得できる。20mm の位置でペンを検出できるスマートフォンも製品化されているが、国内での入手が困難であったため、同等仕様のペンタブレットで代用し、検出距離の長短による検出値の違いを検証することとした。

端末には、図 6 に示すスマートフォン用と PC 用の Web コンテンツと、およびに示すような Web コンテンツを表示し、リンクが張られている項目をタップするように指示した。

表 1 評価実験に使用した端末の仕様

端末の種類	ペンを検出可能な画面との距離(mm)	OS
スマートフォン	5	Android 4.0
ペンタブレット	20	WindowsXP



図 6 スマートフォン用の Web コンテンツ (左), PC 用の Web コンテンツ (右)

4.2 実験結果

表 1 の 2 台の端末を用いてスタイラスペンでスマートフォン用のコンテンツおよび PC 用のコンテンツに対するポインティングを実施し、式(4)で求めた接触点の予測値と、実際に接触した点の実値の平均誤差を表 2 に示す。スマートフォンは位置データのサンプリングを 7~150ms 間隔で実施し、200ms 以内に取得できる位置データは 2~4 点であり、200ms の時点で予測値を算出した。一方、ペンタブレットは位置データのサンプリングを 1~15ms 間隔で実施し、50ms 以内に取得できる位置データは 2~7 点であり、50ms 経過した時点で予測値を算出した。

表 2 コンテンツに対する接触点の予測値と実値の平均誤差(pixel)

端末の種類	スマートフォン用コンテンツ	PC 用コンテンツ
スマートフォン	7.3	10.8
ペンタブレット	11.9	12.1

スマートフォン用コンテンツに対する接触点の平均誤差は、スマートフォンで約 7.3pixel、ペンタブレットで約 11.9pixel であった。スマートフォン用コンテンツの選択範囲の高さは 80 pixel と大きめなので実用に耐えうる誤差である。

PC 用のコンテンツに対する接触点の平均誤差は、スマートフォンで約 10.8pixel、ペンタブレットで約 12.1pixel となり、スマートフォン用コンテンツに対する接触よりもやや

誤差が大きい。PC 用のコンテンツの選択範囲の高さは約 15 pixel とかなり小さく、対数関数の近似式による予測値を用いることで、誤差を小さく抑えることは有効である。

さらに、図 7 のように、ペンタブレットに対する入力デバイスの接近方向を変えてポインティングを実施した。予測値から実値（実際に接触した点の座標）を差し引いた値を差分とし、差分の平均値を表 3 に示す。右から左に向かって入力した場合には X 軸方向の誤差が大きくなり、下から上に向かって入力した場合には Y 軸方向の誤差が大きくなる。つまり、移動量の多い軸について予測誤差が大きくなっている。

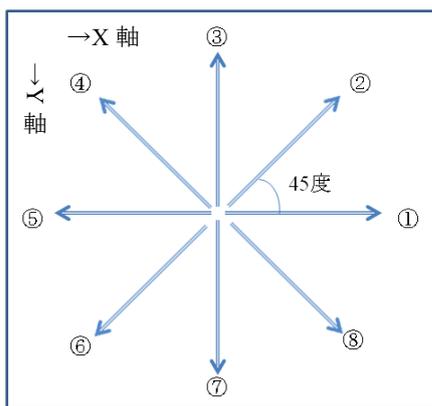


図 7 入力デバイスの接近方向

表 3 入力デバイスの接近方向と平均差分 (pixel)

接近方向	X 座標	Y 座標
①左から右へ	17.3	-1.2
②左下から右上へ	7.7	-2.3
③下から上へ	-4.7	-36.4
④右下から左上へ	-22.0	-26.0
⑤右から左へ	-35.5	1.5
⑥右上から左下へ	-9.6	4.6
⑦上から下へ	-2.1	19.8
⑧左上から右下へ	-4.5	-9.0

4.3 考察

入力デバイスを検出してから接触点を予測するまでの時間が短ければ短いほど早く通信処理を実行できるので、入力デバイスを検出してから 1 点目の位置データのみを用いて接触点を求めることが有効と思われる。しかし、実機を用いて検証した結果、検出時の位置データと 1 点目の位置データ、すなわち 2 点の位置データだけでは等速運動方程式をたてるしかない。図 3 に示したように、実際には時間経過とともに移動速度は変化するため、等速運動方程式にあてはめるだけでは予測精度が低くなってしまふ。表 4 に示すように、等速運動方程式から求めた予測値と、式(3)の近似式によって算出された予測値を比較すると、式(3)の近似式によって算出された予測値の方が 30%~40%予測

誤差を低減しており、数個の位置データを取得してから接触点を予測することが通信処理の誤動作を防ぐことにもつながる。タッチパネルが入力デバイスの接近を検出し始めてから 200ms 程度で接触する平均的な手の動きの場合、検出してから 50ms までのデータを用いて接触点を予測すると、大幅な遅延が頻繁に発生する移動網やインターネット上でのアクセスに対して、Web ブラウジングの応答時間を 150ms 短縮できる。

表 4 2 種類の近似式による予測誤差の平均値(pixel)

端末の種類	等速運動方程式	対数関数
スマートフォン	10.4	7.3
ペンタブレット	20.6	11.9

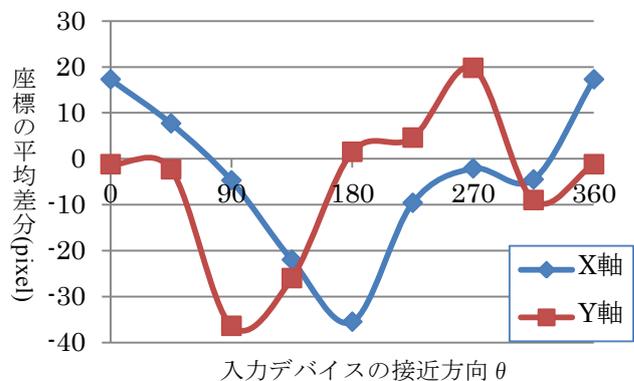


図 8 入力デバイスの接近方向と座標の平均差分

さらに、図 7 の接近方向の角度 θ と表 3 の平均差分をグラフ化したものを図 8 に示す。X 軸、Y 軸のそれぞれにおいて差分が大きくなりやすい接近方向が異なることが分かる。この特性を式(3)に反映することで、予測値を実値に近づけることが考えられる。

例えば、図 8 の X 軸および Y 軸の変移が sin カーブや cos カーブの位相に近似していることから、式(5)のように接近方向 θ の要素を加えることで、接触点の予測誤差を減らすことが可能である。 θ は図 7 に示した角度であり、 α および β は個人差を考慮した係数であり、回帰分析して求める。

$$P(x) = (c(x) + d(x) * \ln(MT)) + \alpha * \cos\theta + ET(x)$$

$$P(y) = (c(y) + d(y) * \ln(MT)) + \beta * \sin(\theta + \pi) + ET(y) \quad \dots(5)$$

また、入力デバイスの接近方向ごとに、予測値によってスマートフォン用コンテンツの選択ボタンを正確に選択した正答率を図 9 に示す。①から⑧までの接近方向における正答率の平均値は 83% となり、概ね正確にコンテンツを選択できた。スマートフォン用コンテンツの選択ボタンのサ

イズは縦 80pixel×横 200pixel であり、予測値と実値の差分の許容範囲は Y 軸のほうが小さい。Y 軸の差分が大きかった③と④の接近方向では、選択したコンテンツの正答率は低くなった。被験者は全員右利きなので、左上方向にポインティングするときは他の方向に比べてペンを持つ手の移動距離が長くなる。手の動きが大きいほど、ポインティング動作のぶれが大きくなり、予測値と実値の差分も大きくなると考えられる。

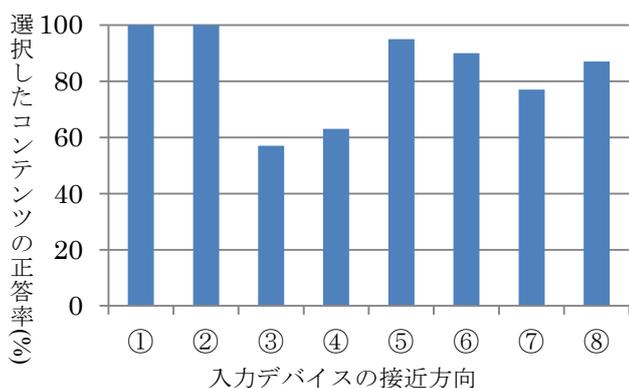


図 9 入力デバイスの接近方向と選択したコンテンツの正答率

また、被験者からは、今回のようにスタイラスペンを使う場合は、ペンの先端が細く、タッチする箇所の視認性が高いので、指で入力するよりも入力速度は速くなるということであった。指でポインティングする場合には、指が接触した箇所が隠れてしまうため、もっと時間をかけて慎重に近づけるといことである。提案方式は、より画面から離れた位置で入力デバイスの接近を検知可能な端末ほど効果を発揮する。さらに、指を使うとポインティング時間が長くなるので、短縮できる応答時間も長くなると考えられる。

5. おわりに

本稿では、端末画面に接近するペンや指などの入力デバイスの位置データを用いて画面への接触点を予測し、接触する前に HTTP のアクセスを開始することで、Web サーバからの応答を高速化する方式を提案し、汎用的な端末を用いて画面への接触点を高精度に予測するためのアルゴリズムを検証した。提案する方式は、Web アクセスの高速化だけでなく、ユーザによる操作が必要なアプリケーション全般に適用可能である。

今後は、実ネットワーク上で通信制御を実施し、Web コンテンツの先行配信の効果を証明する。実ネットワークの利用可能帯域や遅延などの通信状態に応じて、先行配信のタイミングを調整したり、先行配信する Web コンテンツを選択したりすることで、より効率的に Web コンテンツを先行配信して高速な Web ブラウジングを実現できる可能性があり、検証を継続する。

参考文献

- 1) Forrester, "eCommerce Web Site Performance Today" White paper, (2009).
- 2) P.M.Fitts, "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement", Journal of experimental psychology, vol.47, no.6, pp.381-391 (1954).
- 3) I.S.MacKenzie, A note on the information-theoretic basis for Fitts's law, Journal of Motor Behavior, vol.21, pp.323-330 (1989).
- 4) 宮里 勉, ポインティング操作におけるタ-ゲット予測 — ユ-ザの意図理解へ向けて —, 電子情報通信学会論文誌 D-2 情報・システム, Vol.72, No.11, pp.1916-1925, 1989.
- 5) 鈴木 哲, 笠松 慶子, 矢頭 俊介, 船田 真理子, 二宮 理恵, ペン入力インタフェース利用時における運動成分変化と正確さの関係について, 人間工学, Vol.40, No.3, pp.132-138, 2004.
- 6) Ware Colin, Selection using a one-eyed cursor in a fish tank VR environment, ACM transactions on computer-human interaction, vol.4, no.4, pp.309-322 (1997).
- 7) 岩瀬 弘和, 村田 厚生, 3次元空間での移動を要するポインティング作業への Fitts の法則の拡張モデル, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.85, No.11, pp.1336-1346, 2002.
- 8) 高嶋 和毅, 北村 喜文, 岸野 文郎, 3次元直接指示環境におけるポインティングの速度波形と奥行き知覚に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.143, pp.29-34, 2006.
- 9) 木戸 伸彦, 新熊 亮一, 小牧 省三, 適応先読み伝送方式を用いた無線ウェブアクセスにおける待ち時間短縮効果について, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.101, No.199, pp.13-18, 2001.
- 10) 永瀬 文昭, 阪田 徹, 長遅延通信網での WEB 先読み方式による HTTP 性能高速化の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.94, pp.73-78, 2011.