

Animated Stickies:

Fast Video Projection Mapping onto a Markerless Plane through a Direct Closed-Loop Alignment

18th IEEE International Symposium Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2019)

IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, vol.25, no.11, 2019

Shingo Kagami and Koichi Hashimoto

Tohoku University

Project Page: http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/animated_stickies/

概要

何が実現できたか

- 低レイテンシプロジェクションマッピング
 - ハードウェア的側面
- キャリブレーション不要・マーカ不要の追跡
 - アルゴリズム的側面
- 提案手法
- 結果
- 制限
- まとめ

何を実現したか(1): 低レイテンシプロジェクションマッピング



背景: DLP方式の高速プロジェクション

このような高速プロジェクションマッピングは既に多く開発されており, その多くは Digital Micromirror Device (DMD) を使用

- Kagami+, SIGGRAPH Asia 2015 E-tech
- Watanabe+, IDW 2015
- Panasonic, CES 2016, InfoComm 2017
- Narita+, TVCG 2017
- Bermano+, CGF 2017
- Kagami+, SIGGRAPH 2018 E-tech

二つの異なるアプローチ:

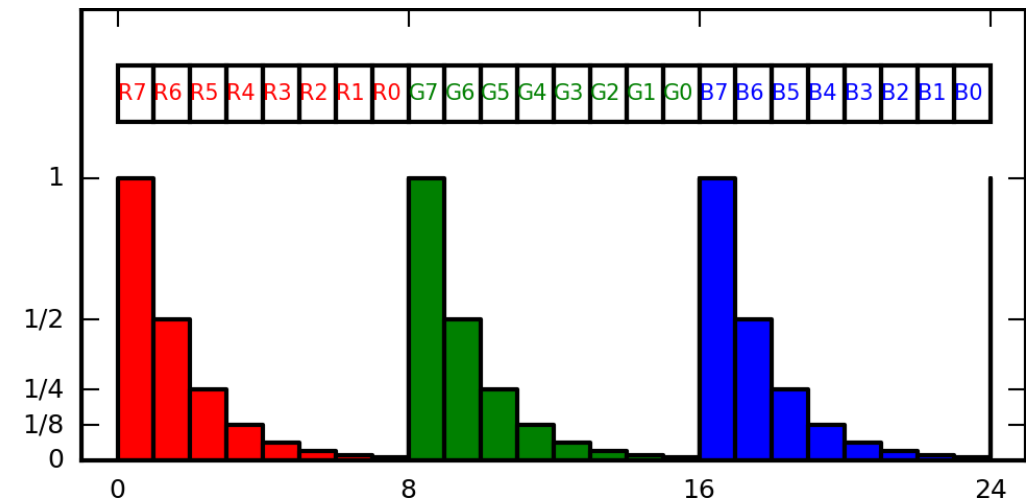
- 画像を表現する2値パターン数を減らして
ビデオフレームレートを上げる
- ビデオフレームレートは上げずに知覚されるレイテンシだけ短くする



video frame time (e.g. ~ 16.6 ms)



binary pattern time (e.g. ~ 45 μ s)

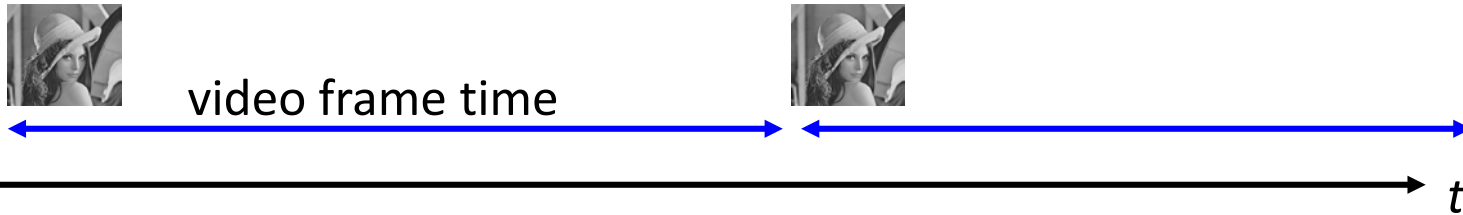


A light source sequence to display 24-bpp images in 24 binary patterns

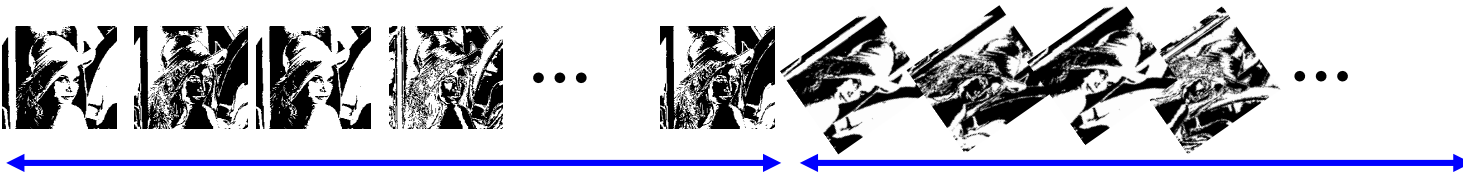
我々のアプローチ [Kagami+ SIGGRAPH Asia 2015 E-tech]

ビデオフレームごとではなく, 2値パターンごとに運動追従を適用

input video



Standard DLP representation (adapt to motion only at the video rate)



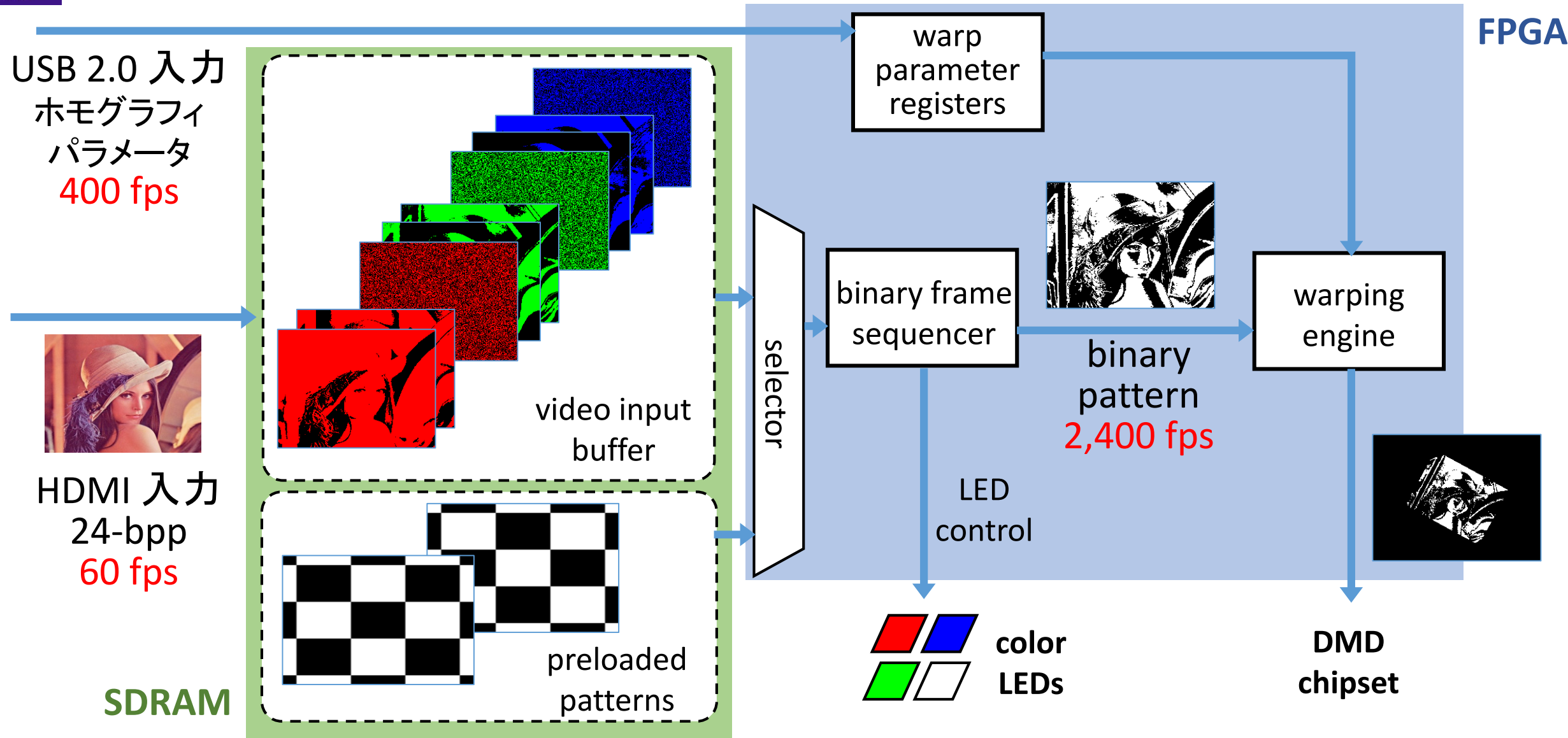
Proposed approach (warp pattern as soon as motion command is given)



Kagami+ SIGGRAPH 2018 E-tech

ヘッドマウントディスプレイ用の類似手法 (Zheng+ ISMAR 2014, Lincoln+ TVCG 2016) と比べて, 低バイナリパターンレート of DMD の利用時に画質劣化が小さい (大城+ TVRSJ 2020)

ハードウェア構成 [Kagami+ SIGGRAPH 2018 E-tech]



何を実現したか(2): キャリブレーション不要・マーカ不要の追跡

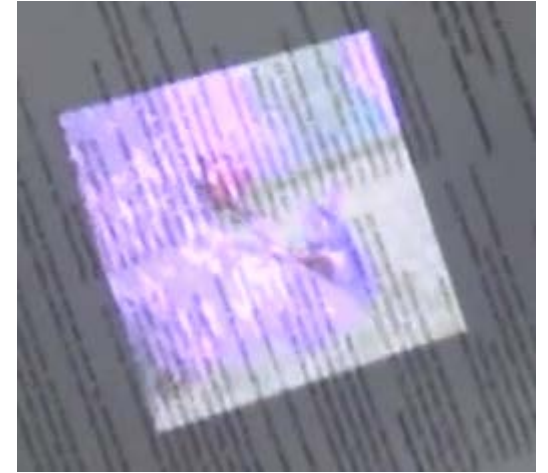


背景: 拡張・複合現実感における閉ループ位置合わせ

投影対象表面だけでなく投影コンテンツも追跡

課題:

- 表面テクスチャと投影光が互いに干渉するため追跡が困難
- 投影コンテンツが時変の場合は追跡が困難



正攻法は, 表面テクスチャへの投影光の重畳をモデル化して追跡処理に組み込むこと; しかし計算が大変

- Audet+ CVPR 2010, Virtual Reality 2013
- Nakamura+ ICPR 2012
- Zheng+ IEEEVR 2013

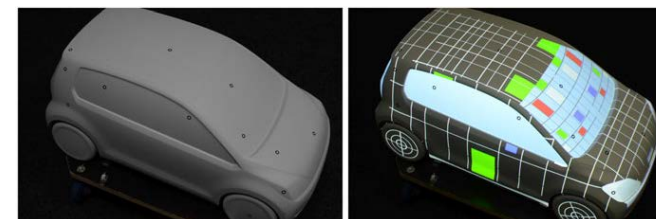
無地の表面を仮定して回避することも多い(表面追跡には形状情報を使う)

既知3D形状



Johnson+
ProCams2007

既知3D形状



Resch+
TVCG 2016

既知射影2D形状



Kagami+
SIGGRAPH Asia 2015 E-tech
SIGGRAPH 2018 E-tech

背景: 拡張・複合現実感における閉ループ位置合わせ

投影対象表面だけでなく投影コンテンツも追跡

課題:

- 表面テクスチャと投影光が互いに干渉するため追跡が困難
- 投影コンテンツが時変の場合は追跡が困難

「コードパターン埋め込み」アプローチ が有効で,
DLP方式とも親和性が高い

Raskar+ 1998, Cotting+ 2004, McDowall+ 2004, Grundhöfer+ 2007,
Hiraki+ 2016, Yamamoto+ 2017, Kusanagi+ 2017

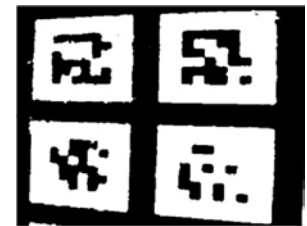
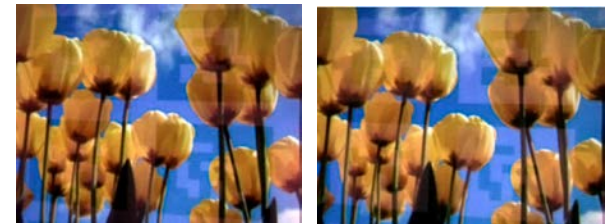
表面テクスチャとコードパターンの分離のため,
通常は複数フレームの情報を利用する → 動きに弱い

e.g. 複数フレームを平均して表面テクスチャを得る

e.g. フレーム差分によりコードパターンを得る



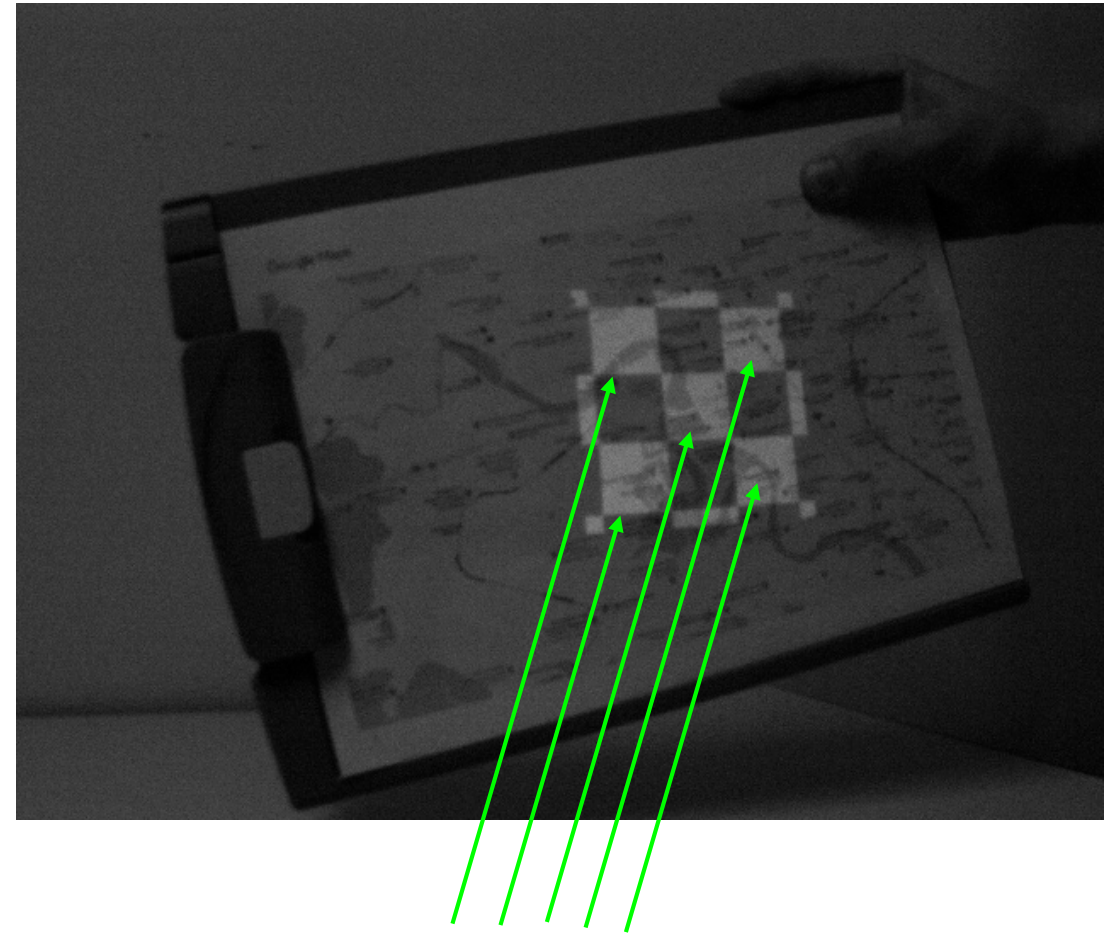
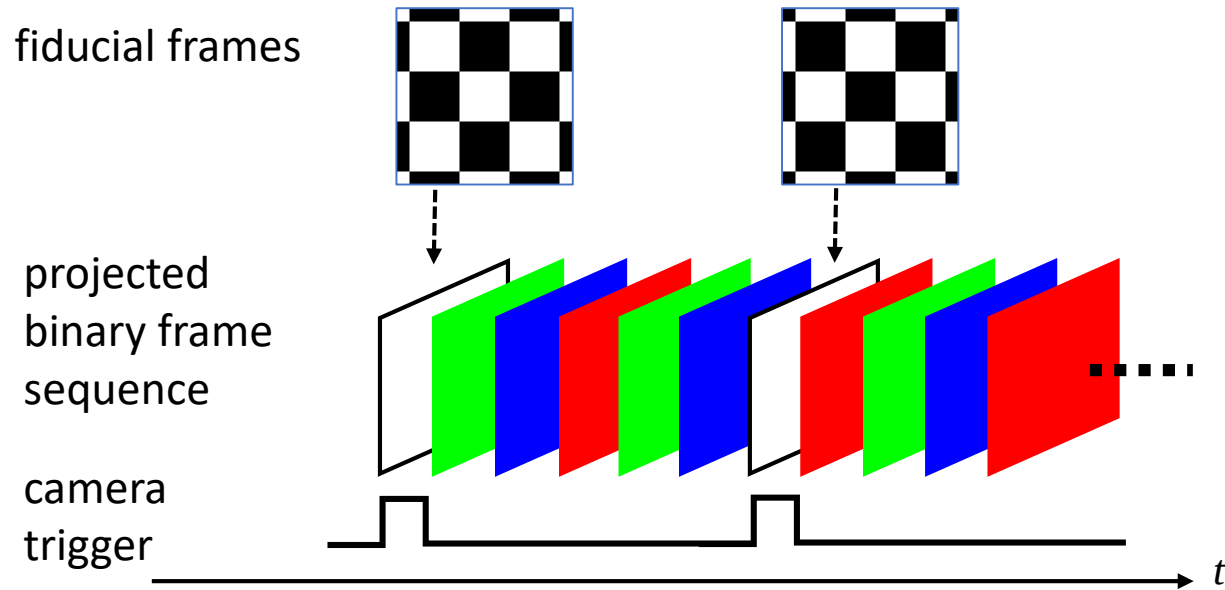
Raskar+ SIGGRAPH 1998



Grundhöfer+ ISMAR 2007

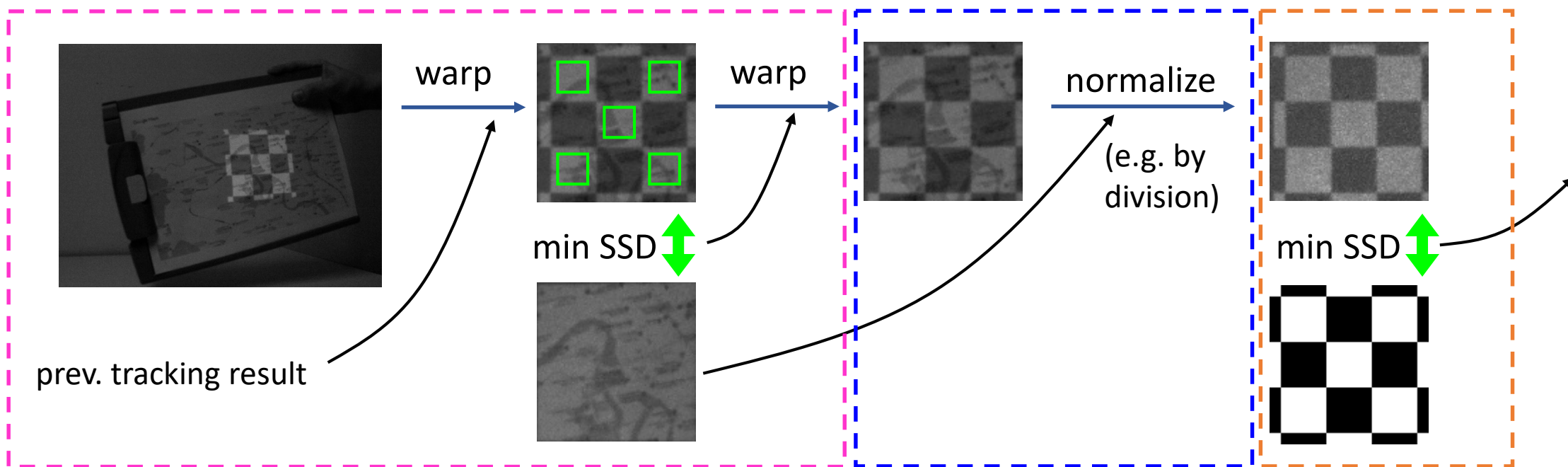
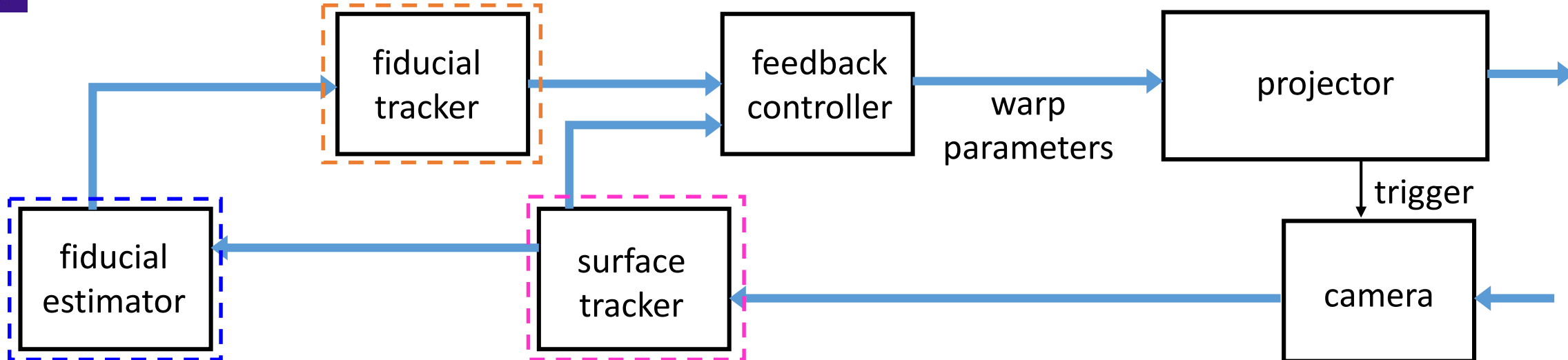
我々のアプローチ

単一カメラフレームから表面テクスチャとコードパターンを分離して追跡したい



- 着目点:**
- コードパターンが一定サイズ以上の無地連結領域を含むなら, 表面テクスチャの追跡は何とか可能
 - いったん表面テクスチャが追跡できれば, コードパターン画像を正規化して追跡するのは比較的簡単

提案アルゴリズムの概略



実装と計算時間

640x480画素 モノクロカメラ

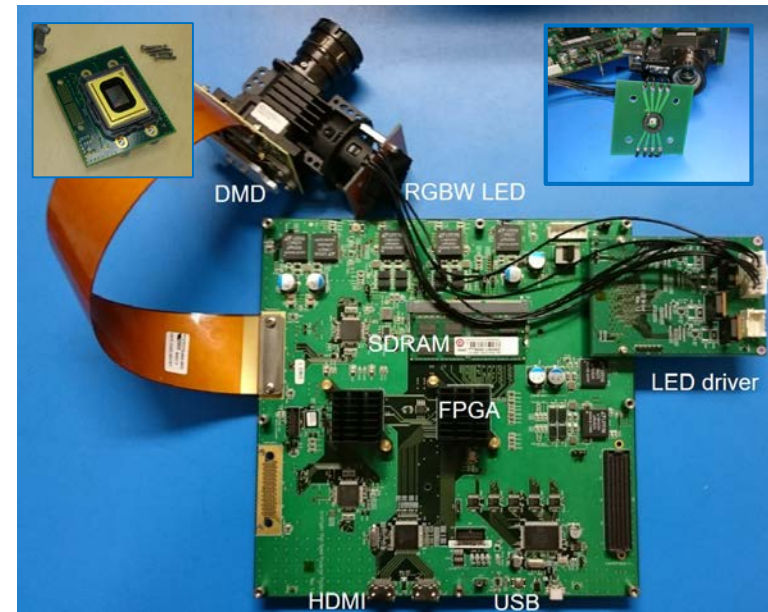
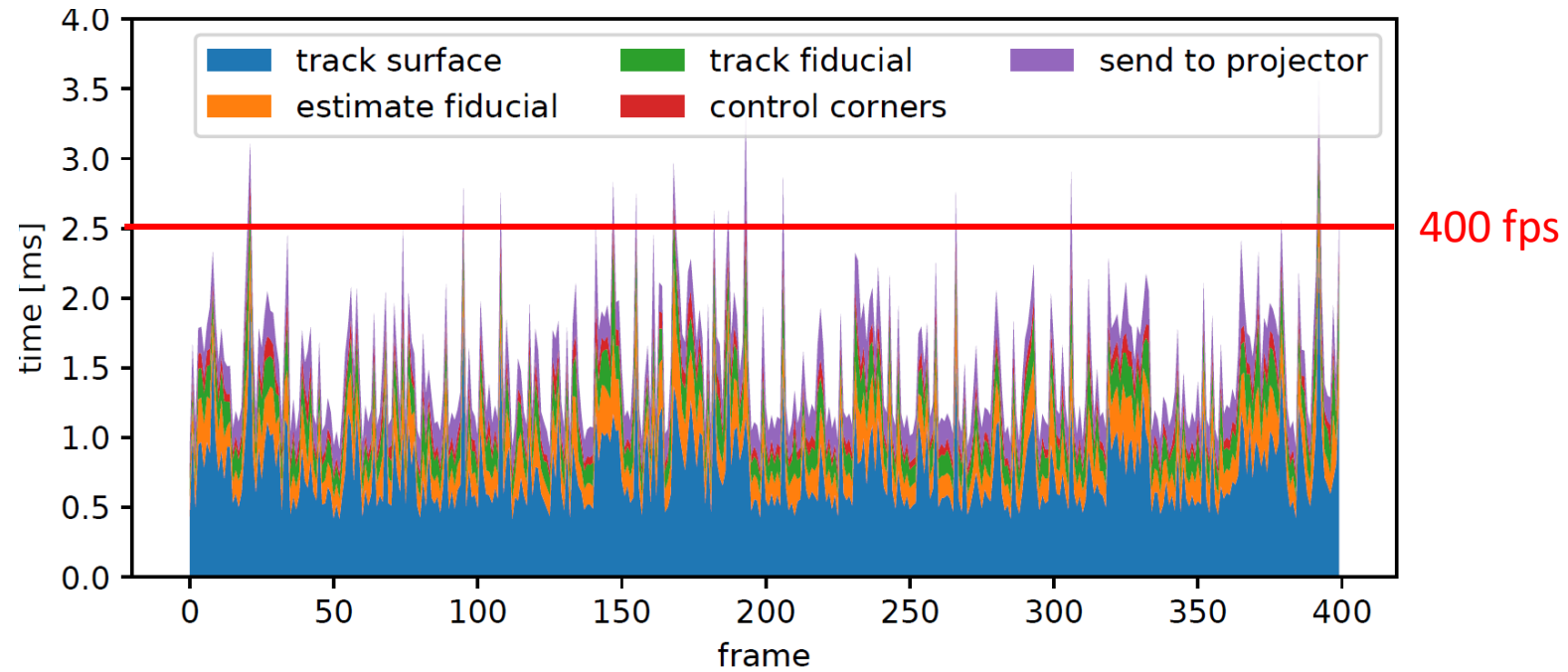
- ESM 法による直接追跡
(Benhimane+ IJRR 2007) を
Intel AVX 命令用に最適化
(Kagami+ SII 2016)
- 400 fps (Core i7-7600U)

追跡結果 (ホモグラフィ) を4制御
点の位置でパラメータ化し直し,
PD制御と1時刻のSmith予測器
で投影用ホモグラフィを制御

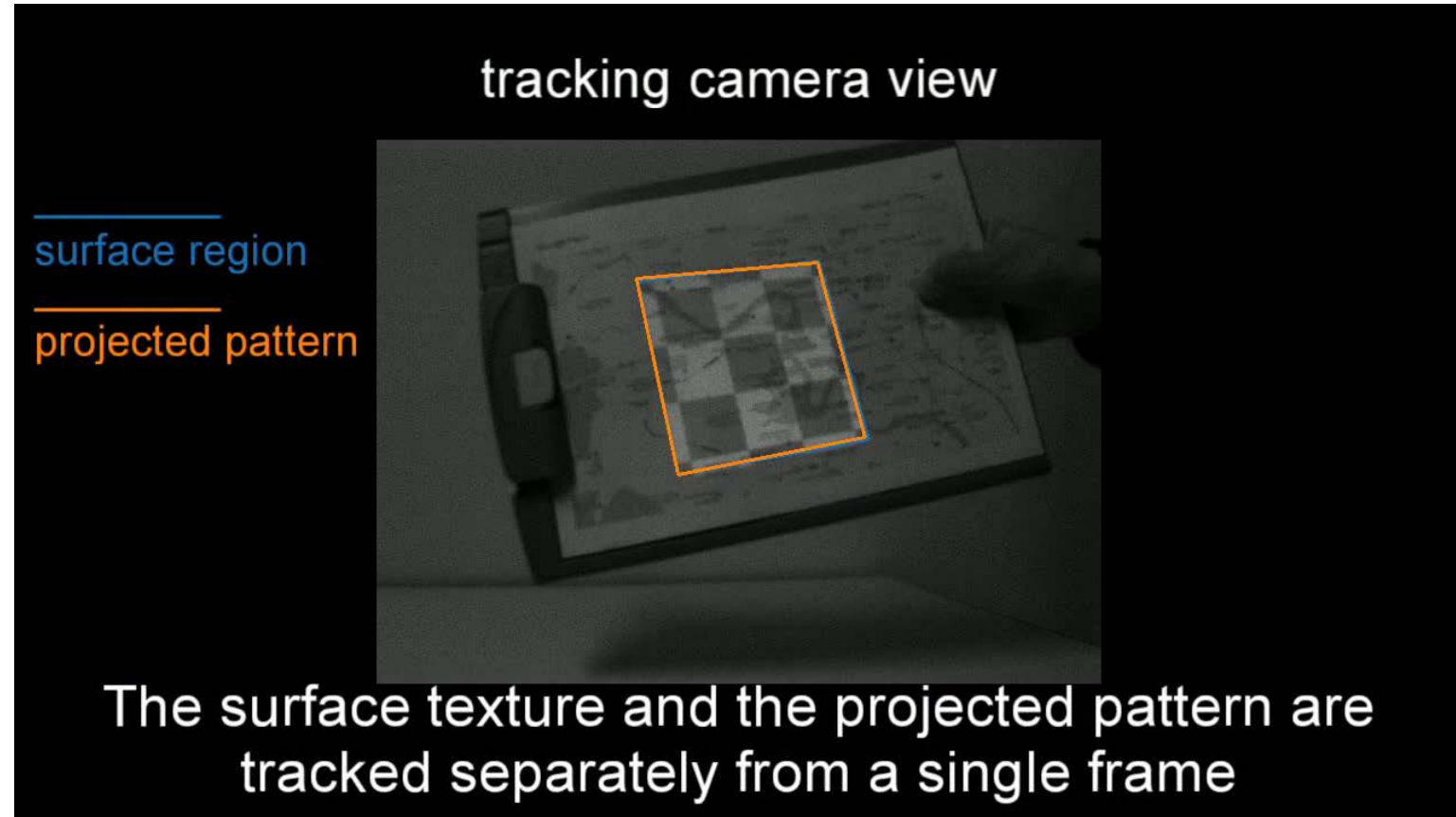
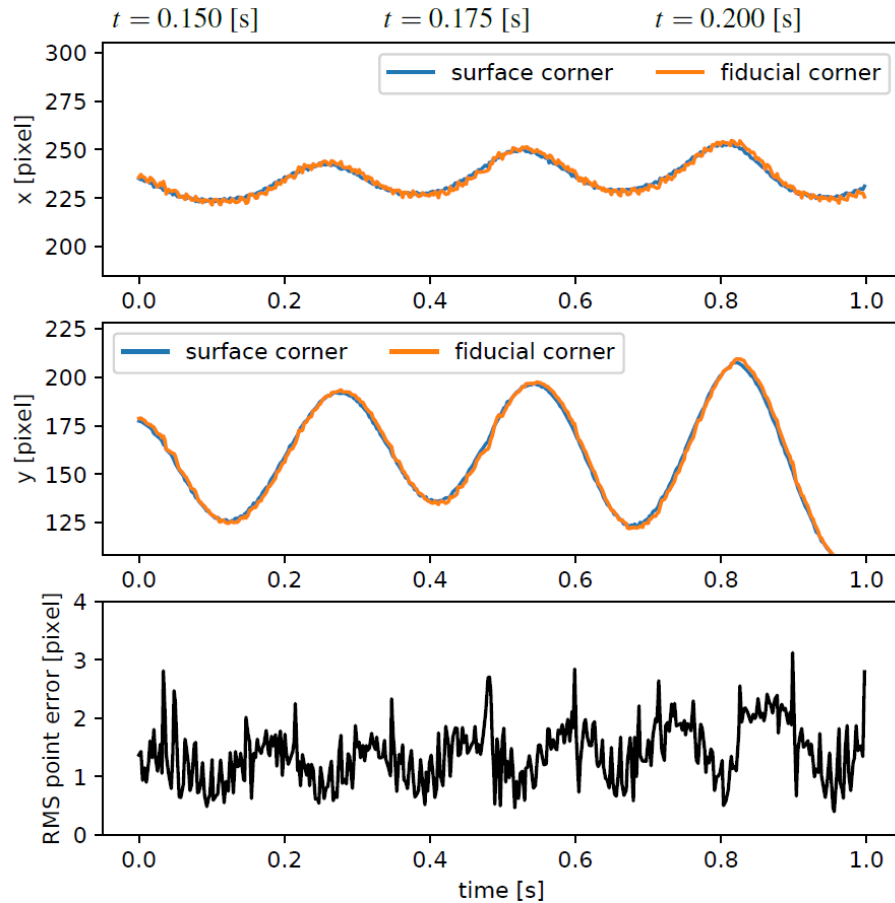
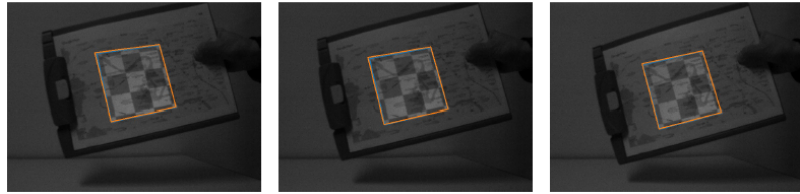
1,024x768 DLPプロジェクタ

- 2値画像ごとのホモグラフィウォープ
- 2,400 transforms/s (XILINX Kintex-7
FPGA)

計算時間の内訳 (Core i7-7600U)

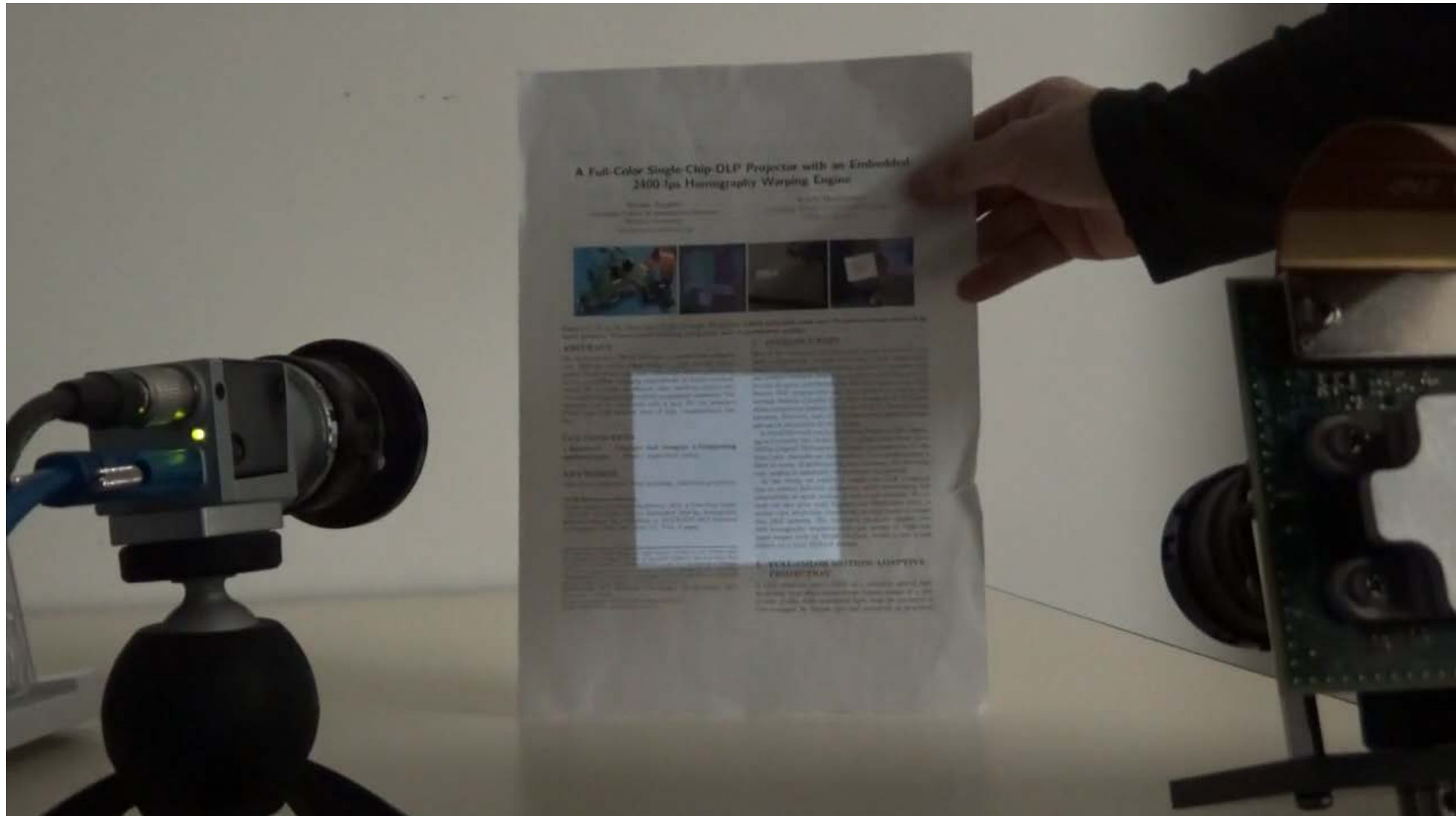


追従性能



この例ではカメラ画像上で2ピクセル程度の追従誤差

その他のデモ

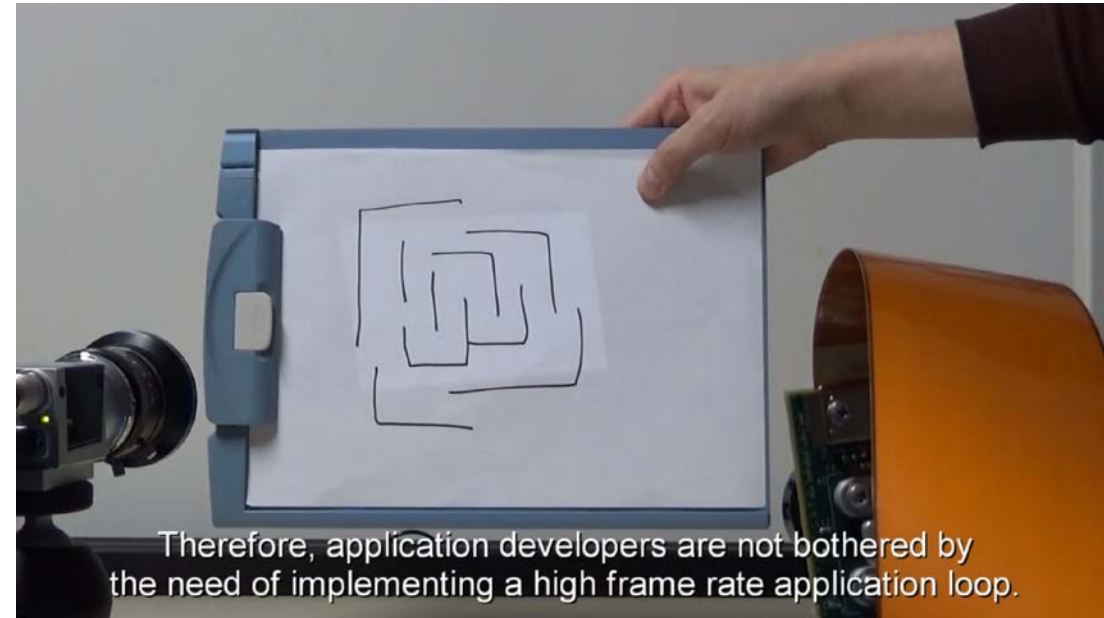


制限

- 投影コンテンツのコントラスト低下
 - コード埋め込みアプローチに共通の課題
- 表面テクスチャによって追跡への向き不向きがある
 - 特に無地表面は無理（従来法を併用するしかない）
- 現在の実装は平面限定
 - 投影パターンのホモグラフィ変換を FPGA でゴリゴリに実装しているため
- 特殊な低レイテンシプロジェクタハードウェアが必要
 - この手のアプリケーションには本質的に必要と思われる
 - 我々の実装は部品レベルでは市販プロジェクタとそれほど変わらない
 - 20年前には想像もできなかった高フレームレートのカメラが今や携帯電話に内蔵されている. プロジェクタだって近い将来は...

まとめ

- キャリブレーション不要・マーカ貼り付け不要の低レイテンシ映像プロジェクションマッピング
- DLPプロジェクタの映像へのコードパターン埋め込みアプローチによる閉ループ位置合わせ
- 単一カメラ画像から投影対象面のテクスチャと投影パターンを分離して追跡できるよう設計



インタラクティブ投影への展開
to appear in SIGGRAPH 2020 E-tech
2020.8.17～

Project Page: http://www.ic.is.tohoku.ac.jp/ja/rtsense/animated_stickies/