

同一時刻，同一領域を撮影した複数の映像の 並列解析処理のための特徴量について

福田 和真[†]，田口 進也[†]，田中 昭二[†]

本論文では，同一時刻，同一領域で視点の異なる複数の撮影映像の解析を並列処理で行うとき，処理効率向上のための映像間の特徴量について検討を行う。

撮影映像内での（時系列な）特徴量の増減傾向は映像間で似ていると仮定し，複数の撮影映像間の特徴量の傾向を評価する指標として，分割した撮影映像ごとの処理時間に対する整列順位についての類似度を考える。

実際の撮影映像について解析処理時間の測定を行い，類似度に応じた処理時間について推定したところ，並列処理効率の向上の可能性が示されていた。

複数の撮影映像間の特徴量の増減傾向について，類似度から似ていることを確認し，検討した特徴量は撮影映像の解析における並列処理に有効なものの一つであると考えている。

Characteristic Information for a Parallel Processing to Analyze Video Images in the Same Area at the Same Time

Kazuma Fukuda[†]，Shin'ya Taguchi[†]，Shoji Tanaka[†]

In this paper, to analyze two or more Video images with different aspect in the same area at the same time by the parallel processing, we consider characteristic information between those image to improve the processing efficiency.

Assuming to look like tendency of characteristic information between Video images, we consider a similarity of the sorting order for the processing time of each divided Video image as an index that evaluates that tendency.

Measuring the processing time of some actual Video images, we estimated the processing time corresponding to that similarity. As a result, it showed the possibility of the improvement of the parallel processing efficiency.

We confirmed the tendency of characteristic information between Video images was similar according to the similarity, so that our characteristic information was one of an effective information for the parallel processing to analyze of a Video image.

1. はじめに

街路や屋内外の特定領域における人や物の交通量の調査，各種広告媒体の視聴者数の調査などにおいて，ビデオカメラで撮影した映像を解析することにより行うことが多くなっている。また，単に人数や個数などを検出したり計測したりするだけでなく，対象となる人や物の動き（動線）について追跡などを行う場合（例えば，参考文献[1][2][3][4][5]）もある。

人や物の動きの追跡において，同一時刻，同一領域に対して撮影する映像を一つの視点だけではなく，視点を変えた複数の映像を撮影する場合がある。そのような複数の映像の解析において，撮影時にリアルタイムに解析を行うことができると理想的である。しかし，必要となる解析用計算機の設置が（その大きさや必要なケーブルの敷設などについて）撮影場所では困難であったり，解析処理の内容がリアルタイムで行うことが難しいものであったりする場合には，撮影映像の解析はオフラインで行うことになる。

撮影映像のオフラインでの解析において，並列処理で行われることも多い。（例えば，参考文献[6]）リアルタイムで撮影映像の解析を並列処理する方法としては，例えば参考文献[1][2][7]がある。

撮影映像のオフライン解析の並列処理において，撮影映像は入力として何らかの形で分割されることになる。そのとき，分割された入力は分割順で処理するよりも，撮影映像の持つ特徴量に基づいて分割された入力の処理順序を考慮することで，より効率的な処理が期待できる。

本論文では，同一時刻，同一領域を撮影した視点の異なる複数の撮影映像に対して解析処理を並列で行うとき，処理を効率化するための複数の映像間の特徴量について検討し，実際の映像の解析時間との関係について評価する。

2. 映像解析における並列処理

映像解析における並列処理には，複数台の計算機で行うもの[1][2][6][7]，1台の計算機で複数のCPUを使用するものなどがある。最近では，1つのCPU内に複数のCPUコアが搭載されたもの（マルチコアCPU）による並列計算も可能になっている。本論文では，マルチコアCPUによる並列処理として述べる。

なお，各CPUコアの性能は等しく，複数の映像間における時刻は同期しているものとする。

[†] 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
MITSUBISHI ELECTRIC Corp. Information Technology R&D Center

2.1 撮影映像の分割について

一般に、撮影映像の解析を並列処理するための分割方法として、映像の画面領域の分割、映像の時間またはフレーム数での分割、それらの組合せなどが考えられる。また、分割せずに、解析処理に関する機能を並列に動作させ、ストリーミングなパイプラインで処理を進める場合もある。

本論文では、映像のフレーム数での分割を考える。なお、映像解析での並列処理において、解析する撮影映像を単純に CPU コア数で等分割した場合、各 CPU コアでの解析処理時間が大きくばらつくことがある。特に、映像内に解析対象となる人や物が多い場面が割当てられた CPU コアでは処理時間が大きく、そうではない時間帯のものでは小さくなる。これらのばらつきを小さくするためには、解析する映像データを CPU コア数より多く（細かく）分割し、それらを各 CPU コアへ効率的に割当てることによって並列処理の効果を上げることが有効であると考えられる。

処理時間を均等とするような CPU コア数での分割も考えることができるが、本論文では CPU コア数の倍数で分割するものとする。ただし、映像のフレーム数が CPU コア数の倍数で割り切れない場合も十分考えられる。その場合には、分割したフレーム数が最大のもので一つしか異ならないように分割する。（つまり、余りのすべてをいずれか一つの CPU コアに割当てるとはしない。）

一方、分割したときのフレーム数が小さすぎる場合には、並列処理全体におけるオーバーヘッドが大きくなることも考えられる。数多く分割するだけでなく、分割した範囲が取りうる最小値も考慮する必要がある。

細かく分割することにより、処理時間の長い部分や短い部分も細分化されることになる。そのため、それらの割当てにおいて処理時間の長い部分だけが特定の CPU コアへ集中的に割り当てられる可能性を下げられる。結果として、各 CPU コアでの処理時間のばらつきについて平滑化される可能性が高まる。

また、CPU コア数の（等分割より多いが）倍数では無い分割方法について考えることもできる。しかし、解析処理の終盤において、一部の CPU コアに対する割当てが無くなり、処理が行われない CPU コアの存在する状況が発生しやすくなる。つまり、そのときは使用されていない CPU コアが存在することであり、並列処理の効率は良くないと言える。

3. 同一時刻・同一領域で視点の異なる複数の映像の特徴量について

分割した撮影映像の CPU コアへの割当てには、何らかの指標に基づいて行うことで並列処理の効率化が期待できる。

3.1 視点の異なる複数映像間の特徴量の関係

映像解析において、視点の異なる複数の撮影映像を利用する場合は多いが、その理由として例えば次のようなものがある。（図 1）

- ・解析対象が人や物の陰で見えない場所に存在する場合への対応
- ・追跡における立体視への対応

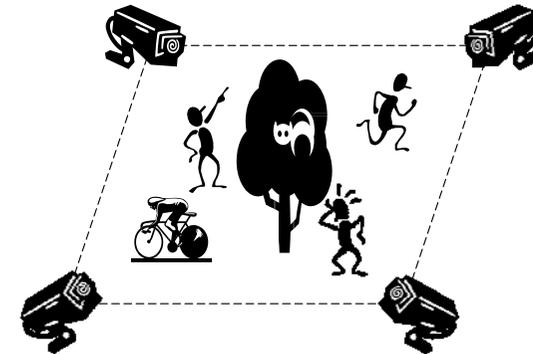


図 1 同時刻・同領域での視点の異なる複数映像

映像での解析処理は、対象となる人や物の検出数が解析処理時間の増減に比例する 경우가多い。そのため、分割した範囲での解析処理時間は、映像解析における特徴量の一つとして考えることができる。

また、同一時刻かつ同一領域での視点を変えた複数の映像は、それぞれの内容の詳細は異なるが、映像全体の概略的な情報量として大きく異なることは（直感的にも）考えにくい。つまり、視点のことなる複数の映像間で人陰や物陰による特徴量の多少の増減は考えられるが、時間帯または時系列的な観点による特徴量の増減の傾向としては、それぞれの映像間において近い傾向を示すことが推測/仮定できる。

3.2 撮影映像の特徴量の取得

同一時刻かつ同一領域で視点を変えた映像は、それぞれの映像の時系列での特徴量の増減傾向が似ていると仮定しても、事前にその傾向がすぐわかるものではない。映像の特徴量の傾向を調べるためには、一度、全体を調査（解析）する必要がある。これは、特徴量を利用するために、その特徴量を事前に調べなければならないという一種のジレンマとなる。

しかし、同一時刻かつ同一領域で視点を変えた映像間の特徴量の傾向に関する仮定から、複数の映像すべてを事前に調査する必要はないと考えることができる。なぜな

ら、複数の撮影映像のうち、まず一つ目の撮影映像について解析を行い、そのときのそれぞれの分割範囲における処理時間を測定する(特徴量の傾向を調査する)ことで、二つ目の映像以降の同じ分割範囲について特徴量の傾向を推定し、解析処理へ利用することが考えられるからである。

つまり、一つ目の撮影映像は CPU コア数の倍数で等分割し、先頭から順番に CPU コアへ割当ててことで並列処理を行い、そのときの分割範囲における解析処理時間を測定する。そして、処理時間の時系列における増減の傾向を特徴量の増減傾向として扱うことで、二つ目以降の撮影映像の解析に対する並列処理における CPU コアへの割当順の調整・決定に利用する。(図 2)

なお、二つ目以降の撮影映像の解析においても、それぞれの分割範囲における処理時間を測定し、それまでの同じ範囲に対する特徴量について補正することなどを考えることができる。また、処理時間が均等となるような分割範囲を決定する方法の検討へも発展させることができる。

3.3 複数の撮影映像の特徴量の類似性について

複数の映像間における特徴量の増減傾向の類似性について、単に似ているというだけでなく、その指標や評価の方法について考える必要がある。

3.3.1 複数の撮影映像間の特徴量の類似性について

視点の異なる複数の撮影映像の特徴量が似ているとしても、対応する分割範囲どうしでの処理時間まで同じになることは考えられない。

本論文では、視点の異なる複数の撮影映像間の特徴量の相対的な関係を知るために、一つの撮影映像内における各分割範囲についての処理時間の整列順序を考える。このため、各撮影映像での分割範囲を同じものにして評価する必要がある。しかし、整列順序を考慮することで、処理時間をそのまま評価する必要は無く、特徴量の時系列での“傾向”という観点からも、複数の撮影映像間における各分割範囲の相対的な増減の傾向がわかりやすくなる。

なお、処理時間の整列順序は降順で考える。並列処理において、処理時間の多い分割範囲の扱いは、効率的な処理を考える上で重要である。

処理時間の降順での整列順序で特徴量の類似性を考えるとき、完全に一致した状態(類似度 100%)は、それぞれ分割範囲について両方の整列順序が一致した場合である。そうではないとき、分割範囲の処理時間についての整列順序がどの程度一致しているのかを類似度として評価する。

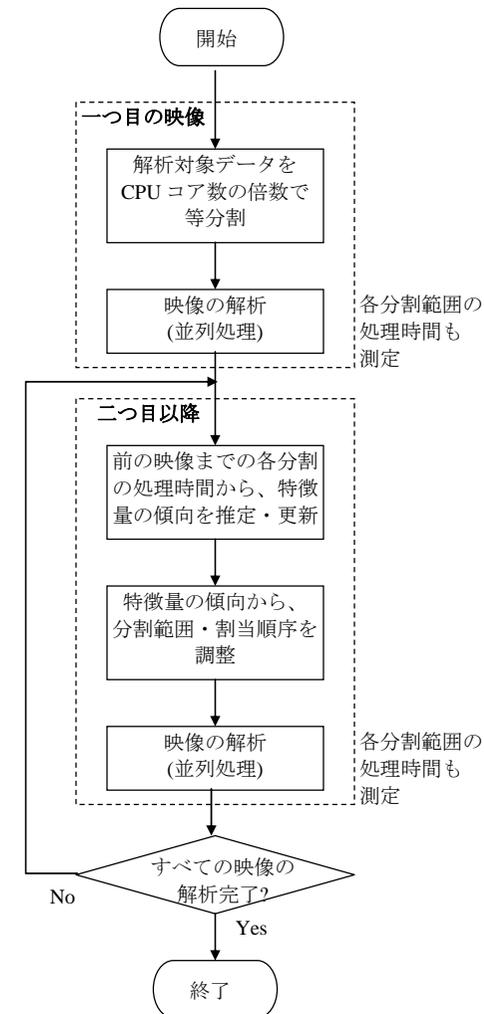


図 2 特徴量の傾向を利用した複数の撮影映像の解析処理フロー

3.3.2 類似度の求め方

2 つの整列順序の類似度を求めるとき、一致の度合を直接求めるよりも不一致の度合(非類似度)を考えるほうが求めやすい。

そのため、2つの撮影映像のそれぞれにおける同じ分割範囲について整列順序がどの程度離れているか（つまり、距離）を求め、その合計について最悪の場合の最大距離の合計との割合を算出することで非類似度を求めることができる。

ここで、それぞれ n 個で構成される2つの整列順位 A, B があるとする。このとき、 A の整列順位を $1, 2, \dots, n-1, n$ とし、 B の整列順位を A の同じ分割範囲に対応して並べたものを $i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, i_n$ とする。このとき、2つの整列順位の距離

の和は $L_n = \sum_{k=1}^n |k - i_k|$ となる。また、2つの整列順位の距離の和の最大値を L_{\max} とする

と非類似度は $\frac{L_n}{L_{\max}}$ となるため、類似度は次で表すことができる。

$$\text{類似度} : 1 - \frac{L_n}{L_{\max}}$$

3.3.3 2つの整列順位の距離の和の最大値

L_{\max} が最大値を取る場合を考える。その場合は、 B の整列順序が A の逆順になる場合、または、半分だけ循環した場合が該当する。ただし、分割個数が偶数か奇数かにより、最大値を求める式は少し異なる。

$$\text{偶数の場合: } L_{\max} = \frac{n^2}{2}$$

$$\text{奇数の場合: } L_{\max} = \frac{n^2 - 1}{2}$$

4. 実験と評価

前節までの検討に基づき、並列処理による解析の処理時間を測定し、複数の撮影映像間の特徴量について考察・評価を行う。

なお、解析処理とその内容は参考文献[6]に基づいたものである。

4.1 実行環境

処理時間を測定するために解析を行った実行環境は次である。

CPU	: Xeon X5482 3.2GHz × 2 (合計 8 コア)
メモリ	: 32GB
OS	: Windows XP Professional x64 SP2
言語	: C++ (VisualStudio2005)
その他	: スレッドの生成・終了同期で OpenMP を利用。
撮影映像	: 屋内3箇所 (各カメラ2台, 7時間分)

撮影映像は次の4種類の分割方法で解析し、その処理時間を測定した。

- A: 8分割 (等倍分割)
- B: 16分割 (2倍分割)
- C: 24分割 (3倍分割)
- D: 32分割 (4倍分割)

測定結果の集計は、処理時間そのものではなく、並列処理を行わない(1つのCPUコアのみでの処理)場合に対する並列処理効率で評価する。なお、撮影映像3箇所での平均値とする。

ところで、 n 個の CPU コア) を使用するときの並列処理効率は、1つの CPU コアでの処理時間を T_1 、 n 個の CPU コアでの処理時間を T_n とすると、 $\frac{T_1}{T_n}$ となる。この値は、50%以上ならば効率的であると言われる。

また、並列処理における処理時間は、CPU コアごとの処理時間の合計の中の最大値に相当する。

4.2 測定結果

測定結果と、その結果に基づいて算出した類似度を図3に示す。

図において、並列処理効率は棒グラフで表しており、各分割数における左と中心の棒グラフはそれぞれ一つ目と二つ目の撮影映像におけるものである。

類似度は、同じ図の折れ線グラフで表したものであり、一つ目の撮影映像における各分割範囲の処理時間を降順に整列したのものに対する二つ目のものの一致度合である。

また、各分割数での右側の棒グラフは、一つ目の撮影映像のそれぞれの分割範囲の処理時間の降順での整列順位に基づいて、二つ目の撮影映像の対応する分割範囲の処理順序の割当てを行ったと想定した場合の、二つ目の撮影映像の解析における並列処理効率である。(ただし、机上計算である。)

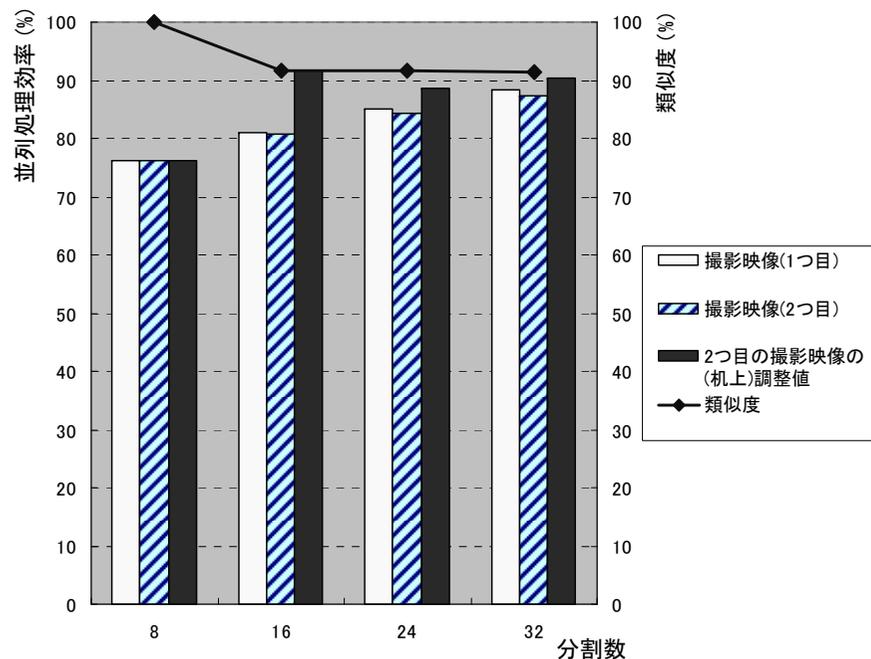


図 3 類似度と並列処理効率

4.3 考察と評価

並列処理効率は、CPU コア数の等分割の場合でも 70%以上あり、処理効率自体は悪くないという結果になっている。ただし、(図や結果として示していないが) 等分割の場合は、処理時間が最小と最大のもので 2 倍近く異なる場合があった。

分割数は多くなると並列処理効率は良くなっているが、その上昇傾向は多少鈍化しつつ増加している形である。これは、分割数に反比例して分割した範囲でのフレーム数が少なくなるが、その減少傾向は正比例でないためと考えられる。また、さらに分割数を増やしていった場合の並列処理効率の限度があることも示している。(この測定では、32 分割の場合、一つの分割範囲は約 13 分の映像である。)

なお、8 分割の場合は、8 つの CPU コアへの割当てでは、どのように割当てても論理的に変わらないため、並列処理効率には変化がない。

類似度は、どの分割数において 90%以上である。分割数が少ない、つまり、分割した時間範囲(フレーム数)が大きいほうが類似度は高めている。類似度の傾向として、分割の範囲が大きい場合にはその範囲での特徴量の傾向に関する誤差(処理時間の増減差)が相対的に小さくなり、小さい場合には相対的に誤差が現れやすくなることが考えられる。

机上計算での結果から、一つ目の撮影映像の分割範囲の整列順位に応じて、二つ目の撮影映像の分割範囲の割当て順序を考慮したときの並列処理効率は、分割数を多くするだけよりも向上し、約 90%となっている。そのため、単に分割数を変化させるだけでなく、割当て方法も考慮することで効率性がさらに向上していると言える、より効率の良い割当てへの可能性を示している。

ただし、割当ての最適解を求めるには割当て問題のような NP 困難な問題を解く必要があると考えられる。しかし、最適解を求めてしまうと、その処理時間が大きくなり、有効性が低下することになる。そのため、実際には精度が高く、処理時間が少ない近似解法を利用することになると考えられる。机上計算で行ったように、一つ目の撮影映像の処理時間に基づいた整列順位の利用は、効果のある近似解法の一つとも言える。

図や結果として示していないが、類似度が 90%よりも小さい場合を想定して処理時間を推定したところ、並列処理効率(つまり、処理時間)が良くなる場合があった。類似度がより小さくなるにしたがい、その傾向が顕著であった。そのため、類似度が高くない場合には特徴量を利用した分割範囲の割当て順序の考慮は行わないほうが良いとも考えられる。また、並列処理効率の向上が期待できない類似度の値について、検討する必要もある。

以上の結果から、複数の撮影映像間の特徴量の増減傾向は似ていることが確認できたと考えられ、検討した特徴量は撮影映像の解析における並列処理に有効なものの一つであると考えている。

5. 今後の課題

撮影映像の解析における並列処理向上のための特徴量について実際の撮影映像から検証した。しかし、解析処理の中にはまだ組み込まれておらず、測定結果に対して机上計算したものであり、可能性を述べたものにすぎない。そのため、実際の解析処理に組み込み、並列処理が効率化できることを確認する必要がある。

検討した特徴量に応じ、撮影映像のそれぞれの分割範囲を CPU コアへ効率的に割当てて方法について、具体的に検討する必要がある。ただし、最適な割当てを求めた

めに最適解を得ることは理想的であるが、実際には時間がかかる。そのため、近似解法を含め、効率的な方法の検討が必要である。

また、特徴量に応じた割当てで効果の期待できる類似度の値について調査する必要がある。解析処理へ組み込む場合には、特徴量の利用に対する閾値として対応するものとなる。

6. まとめ

本論文では、同一時刻、同一領域を撮影した視点の異なる複数の撮影映像に対する解析を並列処理で行うとき、処理を効率化するための複数の映像間の特徴量について検討した。

複数の撮影映像の解析処理を並列に行うとき、それぞれの撮影映像における（時系列的な）特徴量の増減傾向は似ていると仮定し、分割された範囲ごとの処理時間の整列順位の類似性を特徴量として扱うことにした。2つの整列順位間の類似度の求め方について検討し、2つの撮影映像で同じ分割範囲について整列順位の距離を求めたものの合計ものとした。

実際に複数の撮影映像の解析を行い、処理時間の測定を行った。並列処理効率として、CPUコア数で等分割した場合でも70%以上あったが、特徴量の類似度に応じた分割範囲の割当てを行った場合の処理時間を机上推定したところ約90%となっていた。これは、並列処理における効率性についてさらなる向上が期待できることを示していると考えている。

そのため、複数の撮影映像間の特徴量の増減傾向について、類似度から似ていることが確認でき、検討した特徴量は撮影映像の解析における並列処理に有効なものの一つであると考えている。

参考文献

- 1) 岡本, 花泉, 萩原: ネットワークに繋がった複数カメラによる人物追跡システムの構築, 信学技報 IE2008-98 pp.53-58, 2008
- 2) 岡本, 花泉: 複数のカメラを用いた人物追跡システムの構築, 信学技報 IE2009-110, pp. 67-72, 2009
- 3) 浅井, 山口, 水野, 永瀬: 赤外線センサ群を用いた人物位置特定・追跡システムの検討, 信学技報 WIT2007-9, pp. 45-50, 2007
- 4) 中澤, 日浦, 加藤, 井口: 分散視覚エージェントを用いた複数人物追跡システム, 情処学会論文誌 Vol42, No.11, pp.2699-2710, 2001
- 5) 田口: 人物位置関係とステレオ精度の最適化によるエレベータ内の人物追跡, 信学技報 CVIM

2009 (29), p.275-280, 2009

6) 外山, 永井, 平野, 石井: 大規模画像処理のための並列プログラミングインターフェース, 信学技報 SIP2009-72, IE2009-97, pp.95-99, 2009

7) 有田, 濱田, 米元, 谷口: PC クラスタを利用した実時間並列画像処理環境 RPV, 信学会論文誌 D-II Vol.J84-D-II No.6 pp.965-975, 2001