



Sampling Effect on Performance Prediction of Configurable Systems : A Case Study

(Tutorial at SPLC'20: Part 3)

Juliana Alves Pereira, Hugo Martin,
Paul Temple, Mathieu Acher

<https://github.com/VaryVary/>

Configurable Systems

- Pros
 - Adaptive
 - Lots of options
- Cons
 - Lots of options (and interactions)
 - Increasingly complex

Machine learning to the rescue



Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces

- C. Kaltenecker, A. Grebhahn, N. Siegmund, J. Guo and S. Apel, "Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces", ICSE, Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 1084-1094.
 - 6 sampling strategies
Coverage-based, solver-based, randomized, solver-based, random distance-based, diversified distance-based
 - 10 configurable systems (1 performance metric)
7z, BerkeleyDB-C, Dune MGS, HIPAcc, Java GC, LLVM, LRZIP, Polly, VPXENC, x264 (encoding time)

Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces

- C. Kaltenecker, A. Grebhahn, N. Siegmund, J. Guo and S. Apel, "Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces", ICSE, Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 1084-1094.
 - Learning algorithm: Multiple Linear Regression
 - Validation metric: Mean Relative Error (MRE)

Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces

	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
7z	51.2 %	33.8 %	22.6 %	65.4 %	58.2 %	25.2 %	55.1 %	37.2 %	16.7 %	85.9 %	27.3 %	16.6 %	74.3 %	16.3 %	17.2 %	58.2 %	15.1 %	9.9 %
BDB-C	122.9 %	29.0 %	26.5 %	49.5 %	46.8 %	42.0 %	45.1 %	46.1 %	18.1 %	320.0 %	75.1 %	15.0 %	237.0 %	12.7 %	9.3 %	21.3 %	39.1 %	12.2 %
Dune	15.5 %	12.5 %	11.4 %	23.6 %	15.1 %	11.8 %	43.3 %	16.8 %	11.2 %	24.4 %	15.2 %	11.4 %	21.5 %	11.8 %	11.0 %	17.6 %	11.5 %	11.3 %
Hipacc	26.2 %	20.5 %	20.5 %	44.8 %	17.2 %	14.7 %	31.9 %	15.7 %	14.2 %	27.9 %	19.0 %	15.3 %	31.5 %	14.5 %	14.0 %	19.9 %	13.9 %	13.4 %
JavaGC	36.7 %	32.1 %	23.7 %	54.2 %	59.3 %	35.8 %	41.9 %	37.8 %	30.2 %	72.9 %	43.8 %	28.2 %	56.0 %	29.9 %	13.2 %	55.8 %	13.9 %	12.3 %
LLVM	6.2 %	6.2 %	5.8 %	9.5 %	5.5 %	5.2 %	5.6 %	5.2 %	5.4 %	5.8 %	5.2 %	5.3 %	5.9 %	5.3 %	5.2 %	5.6 %	5.2 %	5.2 %
lrzip	27.2 %	28.2 %	13.4 %	47.3 %	27.3 %	23.9 %	91.5 %	36.0 %	25.0 %	162.5 %	39.7 %	21.9 %	134.2 %	25.1 %	18.2 %	62.7 %	18.3 %	15.6 %
Polly	19.7 %	12.7 %	7.3 %	20.3 %	16.1 %	15.5 %	20.0 %	13.6 %	14.0 %	23.3 %	14.2 %	14.9 %	25.8 %	10.5 %	11.8 %	25.1 %	13.0 %	10.3 %
VP9	100.3 %	96.3 %	45.3 %	413.0 %	224.2 %	80.8 %	470.2 %	389.1 %	94.5 %	721.9 %	125.0 %	84.5 %	189.8 %	66.5 %	32.0 %	80.6 %	27.2 %	23.3 %
x264	20.9 %	11.9 %	10.9 %	26.2 %	40.4 %	42.2 %	18.5 %	22.2 %	33.2 %	14.7 %	10.0 %	9.4 %	12.6 %	8.8 %	9.0 %	13.5 %	9.2 %	9.1 %
Mean	42.7 %	28.3 %	18.7 %	75.4 %	51.0 %	29.7 %	82.3 %	62.0 %	26.2 %	145.9 %	37.4 %	22.2 %	78.9 %	20.1 %	14.1 %	46.0 %	16.6 %	12.3 %

C. Kaltenecker, A. Grebhahn, N. Siegmund, J. Guo and S. Apel, "Distance-Based Sampling of Software Configuration Spaces", ICSE, Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 1084-1094.

Replication of Kaltenecker et al. “Distance-based Sampling of Software Configuration Spaces” ICSE’19

Is there a one-size-fits-all sampling strategy when predicting performance even for a single configurable system?

Replication Study

- Alves Pereira, J., Acher, M., Martin, H., & Jézéquel, J. M. Sampling Effect on Performance Prediction of Configurable Systems: A Case Study. ICPE, 2020, pp. 277-288.

- Subject system : x264 (video encoder)

	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264	20.9 %	11.9 %	10.9 %	26.2 %	40.4 %	42.2 %	18.5 %	22.2 %	33.2 %	14.7 %	10.0 %	9.4 %	12.6 %	8.8 %	9.0 %	13.5 %	9.2 %	9.1 %

- Changing the input video : 17 videos
- Changing the measured non-functional property

Experimental Setup

■ What does vary?

- Sampling strategy (6 strategies)
- Sample size (3 sample size)
- Encoded video (17 videos) ●
- System configuration (1152 configurations)
- Measured property (Encoding time, encoding size) ●

■ What doesn't vary?

- Learning algorithm (Multiple Linear Regression)
- Learning algorithm hyperparameters
- Configurable Software (x264) ●
- Version ●
- Hardware ●

Results for Encoding Time

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	18.2 %	13.9 %	13.4 %	24.0 %	27.0 %	27.5 %	22.3 %	19.9 %	24.3 %	16.5 %	12.7 %	10.6 %	16.3 %	8.8 %	8.2 %	16.7 %	9.2 %	8.2 %
x264 ₁	15.4 %	13.2 %	12.1 %	26.9 %	23.7 %	24.9 %	21.4 %	21.5 %	23.2 %	17.3 %	14.2 %	9.5 %	17.4 %	9.8 %	8.7 %	16.1 %	9.2 %	8.7 %
x264 ₂	29.3 %	10.3 %	9.7 %	21.4 %	19.4 %	16.4 %	19.1 %	19.6 %	19.4 %	17.4 %	11.4 %	9.8 %	17.6 %	9.6 %	9.3 %	15.3 %	9.5 %	9.3 %
x264 ₃	21.4 %	13.7 %	10.1 %	25.2 %	25.3 %	26.4 %	16.4 %	22.3 %	24.8 %	13.6 %	10.7 %	10.2 %	12.8 %	9.8 %	9.7 %	14.5 %	9.8 %	9.2 %
x264 ₄	21.8 %	12.3 %	14.4 %	23.9 %	21.2 %	22.0 %	18.3 %	21.1 %	22.5 %	14.2 %	11.7 %	9.7 %	13.9 %	10.1 %	8.9 %	13.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₅	26.1 %	14.1 %	13.2 %	28.8 %	23.2 %	24.1 %	21.8 %	22.5 %	23.3 %	16.4 %	13.4 %	11.4 %	16.8 %	10.7 %	9.5 %	15.7 %	10.0 %	9.3 %
x264 ₆	25.9 %	18.1 %	8.6 %	23.6 %	28.5 %	29.1 %	18.2 %	21.6 %	24.9 %	13.7 %	9.9 %	9.0 %	13.2 %	8.8 %	7.8 %	12.6 %	8.0 %	7.3 %
x264 ₇	23.3 %	14.2 %	12.0 %	20.2 %	25.3 %	26.1 %	15.3 %	23.0 %	23.8 %	12.2 %	9.2 %	7.2 %	10.8 %	8.5 %	7.2 %	11.4 %	8.2 %	7.3 %
x264 ₈	20.8 %	13.1 %	11.5 %	20.3 %	22.7 %	23.6 %	16.7 %	23.4 %	23.4 %	12.6 %	10.4 %	9.6 %	11.1 %	9.3 %	8.3 %	12.0 %	8.7 %	7.6 %
x264 ₉	23.4 %	13.2 %	5.6 %	22.1 %	28.6 %	29.7 %	16.8 %	24.2 %	25.3 %	11.4 %	6.5 %	6.5 %	9.2 %	5.8 %	5.4 %	10.9 %	6.6 %	5.4 %
x264 ₁₀	21.9 %	12.3 %	9.3 %	22.6 %	23.2 %	24.0 %	17.9 %	22.4 %	24.3 %	14.0 %	10.2 %	9.7 %	13.5 %	9.4 %	8.9 %	14.0 %	9.0 %	8.8 %
x264 ₁₁	21.1 %	12.6 %	10.3 %	25.7 %	23.5 %	23.8 %	20.0 %	21.1 %	24.7 %	13.3 %	10.8 %	10.4 %	13.0 %	10.1 %	9.7 %	13.9 %	9.4 %	9.1 %
x264 ₁₂	25.4 %	13.4 %	10.4 %	26.2 %	21.2 %	21.6 %	19.8 %	20.6 %	20.9 %	16.2 %	13.7 %	10.9 %	16.3 %	11.4 %	9.1 %	15.0 %	9.7 %	8.5 %
x264 ₁₃	16.4 %	10.5 %	10.0 %	20.6 %	18.8 %	19.1 %	18.3 %	19.4 %	19.8 %	16.0 %	13.9 %	10.0 %	16.2 %	10.5 %	9.6 %	15.5 %	9.7 %	9.0 %
x264 ₁₄	20.7 %	16.9 %	15.8 %	34.3 %	39.5 %	40.6 %	28.5 %	29.7 %	32.4 %	18.1 %	11.1 %	9.6 %	18.4 %	7.8 %	7.3 %	17.4 %	7.5 %	7.2 %
x264 ₁₅	26.2 %	12.7 %	11.1 %	23.2 %	26.5 %	27.2 %	20.3 %	22.7 %	25.1 %	15.1 %	11.9 %	10.7 %	14.8 %	10.6 %	9.5 %	13.9 %	9.1 %	8.9 %
x264 ₁₆	22.9 %	12.3 %	8.4 %	22.1 %	24.5 %	25.2 %	18.0 %	22.2 %	23.6 %	13.4 %	9.4 %	8.9 %	12.6 %	8.5 %	7.8 %	12.5 %	8.1 %	7.4 %
Mean	22.4 %	13.3 %	10.9 %	24.2 %	24.8 %	25.4 %	19.4 %	22.2 %	23.9 %	14.8 %	11.3 %	9.6 %	14.3 %	9.4 %	8.5 %	14.2 %	8.9 %	8.2 %

Results for Encoding Time

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	18.2 %	13.9 %	13.4 %	24.0 %	27.0 %	27.5 %	22.3 %	19.9 %	24.3 %	16.5 %	12.7 %	10.6 %	16.3 %	8.8 %	8.2 %	16.7 %	9.2 %	8.2 %
x264 ₁	15.4 %	13.2 %	12.1 %	26.9 %	23.7 %	24.9 %	21.4 %	21.5 %	23.2 %	17.3 %	14.2 %	9.5 %	17.4 %	9.8 %	8.7 %	16.1 %	9.2 %	8.7 %
x264 ₂	29.3 %	10.3 %	9.7 %	21.4 %	19.4 %	16.4 %	19.1 %	19.6 %	19.4 %	17.4 %	11.4 %	9.8 %	17.6 %	9.6 %	9.3 %	15.3 %	9.5 %	9.3 %
x264 ₃	21.4 %	13.7 %	10.1 %	25.2 %	25.3 %	26.4 %	16.4 %	22.3 %	24.8 %	13.6 %	10.7 %	10.2 %	12.8 %	9.8 %	9.7 %	14.5 %	9.8 %	9.2 %
x264 ₄	21.8 %	12.3 %	14.4 %	23.9 %	21.2 %	22.0 %	18.3 %	21.1 %	22.5 %	14.2 %	11.7 %	9.7 %	13.9 %	10.1 %	8.9 %	13.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₅	26.1 %	14.1 %	13.2 %	28.8 %	23.2 %	24.1 %	21.8 %	22.5 %	23.3 %	16.4 %	13.4 %	11.4 %	16.8 %	10.7 %	9.5 %	15.7 %	10.0 %	9.3 %
x264 ₆	25.9 %	18.1 %	8.6 %	23.6 %	28.5 %	29.1 %	18.2 %	21.6 %	24.9 %	13.7 %	9.9 %	9.0 %	13.2 %	8.8 %	7.8 %	12.6 %	8.0 %	7.3 %
x264 ₇	23.3 %	14.2 %	12.0 %	20.2 %	25.3 %	26.1 %	15.3 %	23.0 %	23.8 %	12.2 %	9.2 %	7.2 %	10.8 %	8.5 %	7.2 %	11.4 %	8.2 %	7.3 %
x264 ₈	20.8 %	13.1 %	11.5 %	20.3 %	22.7 %	23.6 %	16.7 %	23.4 %	23.4 %	12.6 %	10.4 %	9.6 %	11.1 %	9.3 %	8.3 %	12.0 %	8.7 %	7.6 %
x264 ₉	23.4 %	13.2 %	5.6 %	22.1 %	28.6 %	29.7 %	16.8 %	24.2 %	25.3 %	11.4 %	6.5 %	6.5 %	9.2 %	5.8 %	5.4 %	10.9 %	6.6 %	5.4 %
x264 ₁₀	21.9 %	12.3 %	9.3 %	22.6 %	23.2 %	24.0 %	17.9 %	22.4 %	24.3 %	14.0 %	10.2 %	9.7 %	13.5 %	9.4 %	8.9 %	14.0 %	9.0 %	8.8 %
x264 ₁₁	21.1 %	12.6 %	10.3 %	25.7 %	23.5 %	23.8 %	20.0 %	21.1 %	24.7 %	13.3 %	10.8 %	10.4 %	13.0 %	10.1 %	9.7 %	13.9 %	9.4 %	9.1 %
x264 ₁₂	25.4 %	13.4 %	10.4 %	26.2 %	21.2 %	21.6 %	19.8 %	20.6 %	20.9 %	16.2 %	13.7 %	10.9 %	16.3 %	11.4 %	9.1 %	15.0 %	9.7 %	8.5 %
x264 ₁₃	16.4 %	10.5 %	10.0 %	20.6 %	18.8 %	19.1 %	18.3 %	19.4 %	19.8 %	16.0 %	13.9 %	10.0 %	16.2 %	10.5 %	9.6 %	15.5 %	9.7 %	9.0 %
x264 ₁₄	20.7 %	16.9 %	15.8 %	34.3 %	39.5 %	40.6 %	28.5 %	29.7 %	32.4 %	18.1 %	11.1 %	9.6 %	18.4 %	7.8 %	7.3 %	17.4 %	7.5 %	7.2 %
x264 ₁₅	26.2 %	12.7 %	11.1 %	23.2 %	26.5 %	27.2 %	20.3 %	22.7 %	25.1 %	15.1 %	11.9 %	10.7 %	14.8 %	10.6 %	9.5 %	13.9 %	9.1 %	8.9 %
x264 ₁₆	22.9 %	12.3 %	8.4 %	22.1 %	24.5 %	25.2 %	18.0 %	22.2 %	23.6 %	13.4 %	9.4 %	8.9 %	12.6 %	8.5 %	7.8 %	12.5 %	8.1 %	7.4 %
Mean	22.4 %	13.3 %	10.9 %	24.2 %	24.8 %	25.4 %	19.4 %	22.2 %	23.9 %	14.8 %	11.3 %	9.6 %	14.3 %	9.4 %	8.5 %	14.2 %	8.9 %	8.2 %

Results for Encoding Time

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	18.2 %	13.9 %	13.4 %	24.0 %	27.0 %	27.5 %	22.3 %	19.9 %	24.3 %	16.5 %	12.7 %	10.6 %	16.3 %	8.8 %	8.2 %	16.7 %	9.2 %	8.2 %
x264 ₁	15.4 %	13.2 %	12.1 %	26.9 %	23.7 %	24.9 %	21.4 %	21.5 %	23.2 %	17.3 %	14.2 %	9.5 %	17.4 %	9.8 %	8.7 %	16.1 %	9.2 %	8.7 %
x264 ₂	29.3 %	10.3 %	9.7 %	21.4 %	19.4 %	16.4 %	19.1 %	19.6 %	19.4 %	17.4 %	11.4 %	9.8 %	17.6 %	9.6 %	9.3 %	15.3 %	9.5 %	9.3 %
x264 ₃	21.4 %	13.7 %	10.1 %	25.2 %	25.3 %	26.4 %	16.4 %	22.3 %	24.8 %	13.6 %	10.7 %	10.2 %	12.8 %	9.8 %	9.7 %	14.5 %	9.8 %	9.2 %
x264 ₄	21.8 %	12.3 %	14.4 %	23.9 %	21.2 %	22.0 %	18.3 %	21.1 %	22.5 %	14.2 %	11.7 %	9.7 %	13.9 %	10.1 %	8.9 %	13.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₅	26.1 %	14.1 %	13.2 %	28.8 %	23.2 %	24.1 %	21.8 %	22.5 %	23.3 %	16.4 %	13.4 %	11.4 %	16.8 %	10.7 %	9.5 %	15.7 %	10.0 %	9.3 %
x264 ₆	25.9 %	18.1 %	8.6 %	23.6 %	28.5 %	29.1 %	18.2 %	21.6 %	24.9 %	13.7 %	9.9 %	9.0 %	13.2 %	8.8 %	7.8 %	12.6 %	8.0 %	7.3 %
x264 ₇	23.3 %	14.2 %	12.0 %	20.2 %	25.3 %	26.1 %	15.3 %	23.0 %	23.8 %	12.2 %	9.2 %	7.2 %	10.8 %	8.5 %	7.2 %	11.4 %	8.2 %	7.3 %
x264 ₈	20.8 %	13.1 %	11.5 %	20.3 %	22.7 %	23.6 %	16.7 %	23.4 %	23.4 %	12.6 %	10.4 %	9.6 %	11.1 %	9.3 %	8.3 %	12.0 %	8.7 %	7.6 %
x264 ₉	23.4 %	13.2 %	5.6 %	22.1 %	28.6 %	29.7 %	16.8 %	24.2 %	25.3 %	11.4 %	6.5 %	6.5 %	9.2 %	5.8 %	5.4 %	10.9 %	6.6 %	5.4 %
x264 ₁₀	21.9 %	12.3 %	9.3 %	22.6 %	23.2 %	24.0 %	17.9 %	22.4 %	24.3 %	14.0 %	10.2 %	9.7 %	13.5 %	9.4 %	8.9 %	14.0 %	9.0 %	8.8 %
x264 ₁₁	21.1 %	12.6 %	10.3 %	25.7 %	23.5 %	23.8 %	20.0 %	21.1 %	24.7 %	13.3 %	10.8 %	10.4 %	13.0 %	10.1 %	9.7 %	13.9 %	9.4 %	9.1 %
x264 ₁₂	25.4 %	13.4 %	10.4 %	26.2 %	21.2 %	21.6 %	19.8 %	20.6 %	20.9 %	16.2 %	13.7 %	10.9 %	16.3 %	11.4 %	9.1 %	15.0 %	9.7 %	8.5 %
x264 ₁₃	16.4 %	10.5 %	10.0 %	20.6 %	18.8 %	19.1 %	18.3 %	19.4 %	19.8 %	16.0 %	13.9 %	10.0 %	16.2 %	10.5 %	9.6 %	15.5 %	9.7 %	9.0 %
x264 ₁₄	20.7 %	16.9 %	15.8 %	34.3 %	39.5 %	40.6 %	28.5 %	29.7 %	32.4 %	18.1 %	11.1 %	9.6 %	18.4 %	7.8 %	7.3 %	17.4 %	7.5 %	7.2 %
x264 ₁₅	26.2 %	12.7 %	11.1 %	23.2 %	26.5 %	27.2 %	20.3 %	22.7 %	25.1 %	15.1 %	11.9 %	10.7 %	14.8 %	10.6 %	9.5 %	13.9 %	9.1 %	8.9 %
x264 ₁₆	22.9 %	12.3 %	8.4 %	22.1 %	24.5 %	25.2 %	18.0 %	22.2 %	23.6 %	13.4 %	9.4 %	8.9 %	12.6 %	8.5 %	7.8 %	12.5 %	8.1 %	7.4 %
Mean	22.4 %	13.3 %	10.9 %	24.2 %	24.8 %	25.4 %	19.4 %	22.2 %	23.9 %	14.8 %	11.3 %	9.6 %	14.3 %	9.4 %	8.5 %	14.2 %	8.9 %	8.2 %

Results for Encoding Time

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	18.2 %	13.9 %	13.4 %	24.0 %	27.0 %	27.5 %	22.3 %	19.9 %	24.3 %	16.5 %	12.7 %	10.6 %	16.3 %	8.8 %	8.2 %	16.7 %	9.2 %	8.2 %
x264 ₁	15.4 %	13.2 %	12.1 %	26.9 %	23.7 %	24.9 %	21.4 %	21.5 %	23.2 %	17.3 %	14.2 %	9.5 %	17.4 %	9.8 %	8.7 %	16.1 %	9.2 %	8.7 %
x264 ₂	29.3 %	10.3 %	9.7 %	21.4 %	19.4 %	16.4 %	19.1 %	19.6 %	19.4 %	17.4 %	11.4 %	9.8 %	17.6 %	9.6 %	9.3 %	15.3 %	9.5 %	9.3 %
x264 ₃	21.4 %	13.7 %	10.1 %	25.2 %	25.3 %	26.4 %	16.4 %	22.3 %	24.8 %	13.6 %	10.7 %	10.2 %	12.8 %	9.8 %	9.7 %	14.5 %	9.8 %	9.2 %
x264 ₄	21.8 %	12.3 %	14.4 %	23.9 %	21.2 %	22.0 %	18.3 %	21.1 %	22.5 %	14.2 %	11.7 %	9.7 %	13.9 %	10.1 %	8.9 %	13.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₅	26.1 %	14.1 %	13.2 %	28.8 %	23.2 %	24.1 %	21.8 %	22.5 %	23.3 %	16.4 %	13.4 %	11.4 %	16.8 %	10.7 %	9.5 %	15.7 %	10.0 %	9.3 %
x264 ₆	25.9 %	18.1 %	8.6 %	23.6 %	28.5 %	29.1 %	18.2 %	21.6 %	24.9 %	13.7 %	9.9 %	9.0 %	13.2 %	8.8 %	7.8 %	12.6 %	8.0 %	7.3 %
x264 ₇	23.3 %	14.2 %	12.0 %	20.2 %	25.3 %	26.1 %	15.3 %	23.0 %	23.8 %	12.2 %	9.2 %	7.2 %	10.8 %	8.5 %	7.2 %	11.4 %	8.2 %	7.3 %
x264 ₈	20.8 %	13.1 %	11.5 %	20.3 %	22.7 %	23.6 %	16.7 %	23.4 %	23.4 %	12.6 %	10.4 %	9.6 %	11.1 %	9.3 %	8.3 %	12.0 %	8.7 %	7.6 %
x264 ₉	23.4 %	13.2 %	5.6 %	22.1 %	28.6 %	29.7 %	16.8 %	24.2 %	25.3 %	11.4 %	6.5 %	6.5 %	9.2 %	5.8 %	5.4 %	10.9 %	6.6 %	5.4 %
x264 ₁₀	21.9 %	12.3 %	9.3 %	22.6 %	23.2 %	24.0 %	17.9 %	22.4 %	24.3 %	14.0 %	10.2 %	9.7 %	13.5 %	9.4 %	8.9 %	14.0 %	9.0 %	8.8 %
x264 ₁₁	21.1 %	12.6 %	10.3 %	25.7 %	23.5 %	23.8 %	20.0 %	21.1 %	24.7 %	13.3 %	10.8 %	10.4 %	13.0 %	10.1 %	9.7 %	13.9 %	9.4 %	9.1 %
x264 ₁₂	25.4 %	13.4 %	10.4 %	26.2 %	21.2 %	21.6 %	19.8 %	20.6 %	20.9 %	16.2 %	13.7 %	10.9 %	16.3 %	11.4 %	9.1 %	15.0 %	9.7 %	8.5 %
x264 ₁₃	16.4 %	10.5 %	10.0 %	20.6 %	18.8 %	19.1 %	18.3 %	19.4 %	19.8 %	16.0 %	13.9 %	10.0 %	16.2 %	10.5 %	9.6 %	15.5 %	9.7 %	9.0 %
x264 ₁₄	20.7 %	16.9 %	15.8 %	34.3 %	39.5 %	40.6 %	28.5 %	29.7 %	32.4 %	18.1 %	11.1 %	9.6 %	18.4 %	7.8 %	7.3 %	17.4 %	7.5 %	7.2 %
x264 ₁₅	26.2 %	12.7 %	11.1 %	23.2 %	26.5 %	27.2 %	20.3 %	22.7 %	25.1 %	15.1 %	11.9 %	10.7 %	14.8 %	10.6 %	9.5 %	13.9 %	9.1 %	8.9 %
x264 ₁₆	22.9 %	12.3 %	8.4 %	22.1 %	24.5 %	25.2 %	18.0 %	22.2 %	23.6 %	13.4 %	9.4 %	8.9 %	12.6 %	8.5 %	7.8 %	12.5 %	8.1 %	7.4 %
Mean	22.4 %	13.3 %	10.9 %	24.2 %	24.8 %	25.4 %	19.4 %	22.2 %	23.9 %	14.8 %	11.3 %	9.6 %	14.3 %	9.4 %	8.5 %	14.2 %	8.9 %	8.2 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results for Encoding Size

Video	Coverage-based			Solver-based			Randomized solver-based			Distance-based			Diversified distance-based			Random		
	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$	$t = 1$	$t = 2$	$t = 3$
x264 ₀	12.3 %	11.6 %	11.1 %	12.3 %	11.4 %	11.3 %	25.1 %	12.7 %	13.3 %	25.3 %	12.5 %	10.6 %	23.3 %	10.6 %	9.2 %	13.1 %	9.8 %	9.1 %
x264 ₁	4.0 %	3.9 %	3.8 %	3.1 %	3.8 %	3.8 %	1.7 %	3.8 %	3.8 %	4.0 %	4.0 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %	3.9 %	3.8 %	3.8 %
x264 ₂	14.9 %	14.3 %	4.8 %	5.1 %	4.7 %	4.7 %	15.9 %	4.7 %	4.6 %	14.3 %	14.0 %	10.2 %	13.8 %	12.0 %	4.7 %	7.6 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₃	8.6 %	8.3 %	7.8 %	8.1 %	7.3 %	7.4 %	11.2 %	7.6 %	7.4 %	9.9 %	9.3 %	8.0 %	9.6 %	8.3 %	7.5 %	7.7 %	7.4 %	7.3 %
x264 ₄	18.4 %	16.7 %	6.6 %	4.5 %	6.8 %	6.8 %	14.1 %	6.7 %	6.7 %	17.5 %	16.7 %	7.0 %	16.9 %	6.9 %	6.9 %	7.8 %	6.9 %	6.9 %
x264 ₅	11.3 %	11.0 %	10.8 %	4.9 %	6.6 %	5.7 %	12.3 %	9.4 %	4.8 %	11.8 %	11.5 %	10.9 %	11.6 %	10.6 %	10.0 %	9.4 %	6.4 %	5.2 %
x264 ₆	24.6 %	5.3 %	5.2 %	5.4 %	5.4 %	5.3 %	25.6 %	5.3 %	5.3 %	17.6 %	16.8 %	5.5 %	16.1 %	5.4 %	5.4 %	6.3 %	5.3 %	5.3 %
x264 ₇	9.4 %	9.0 %	8.7 %	8.1 %	8.4 %	8.3 %	8.4 %	8.2 %	8.2 %	9.4 %	9.4 %	8.9 %	9.3 %	8.6 %	8.5 %	9.1 %	8.4 %	8.3 %
x264 ₈	10.4 %	9.7 %	8.9 %	8.7 %	8.0 %	8.1 %	11.2 %	7.6 %	8.0 %	12.4 %	12.0 %	9.5 %	12.0 %	9.9 %	8.5 %	8.5 %	8.3 %	8.2 %
x264 ₉	11.6 %	10.5 %	9.5 %	7.6 %	8.6 %	8.5 %	6.9 %	8.4 %	8.4 %	11.3 %	11.6 %	9.6 %	10.8 %	9.7 %	8.7 %	8.8 %	8.5 %	8.4 %
x264 ₁₀	5.2 %	5.2 %	4.9 %	5.2 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.6 %	4.6 %	6.0 %	5.8 %	5.0 %	5.7 %	5.1 %	4.7 %	4.9 %	4.6 %	4.6 %
x264 ₁₁	12.4 %	11.8 %	11.1 %	11.1 %	10.8 %	11.0 %	8.8 %	9.9 %	11.4 %	12.8 %	11.8 %	9.0 %	12.0 %	10.2 %	8.6 %	10.9 %	9.4 %	8.8 %
x264 ₁₂	25.7 %	3.6 %	3.6 %	5.3 %	3.5 %	3.6 %	28.9 %	3.6 %	3.5 %	16.5 %	14.6 %	3.5 %	15.4 %	3.5 %	3.4 %	4.8 %	3.5 %	3.4 %
x264 ₁₃	4.7 %	4.7 %	4.6 %	4.5 %	4.7 %	4.7 %	5.4 %	4.8 %	4.7 %	5.1 %	5.0 %	4.8 %	5.0 %	4.7 %	4.7 %	5.0 %	4.7 %	4.6 %
x264 ₁₄	10.2 %	9.6 %	9.4 %	5.1 %	7.4 %	8.8 %	3.6 %	9.6 %	9.5 %	10.6 %	10.6 %	10.0 %	9.8 %	9.6 %	9.6 %	9.3 %	9.0 %	9.5 %
x264 ₁₅	4.1 %	4.0 %	4.0 %	7.5 %	4.5 %	4.3 %	40.9 %	4.3 %	4.2 %	21.7 %	8.3 %	4.1 %	19.1 %	4.1 %	4.1 %	5.4 %	4.2 %	4.1 %
x264 ₁₆	8.3 %	8.1 %	7.9 %	7.7 %	7.8 %	7.6 %	9.2 %	7.7 %	7.6 %	8.8 %	8.7 %	8.2 %	8.7 %	7.9 %	7.7 %	8.3 %	7.7 %	7.6 %
Mean	11.5 %	8.7 %	7.2 %	6.7 %	6.8 %	6.7 %	13.8 %	7.0 %	6.8 %	12.6 %	10.7 %	7.6 %	12.0 %	7.7 %	6.8 %	7.7 %	6.6 %	6.5 %

Results

Encoding time :

- Similar results
- Random sampling dominant over Diversified Distance-based sampling

Encoding size:

- Random sampling and randomized solver-based sampling overall dominant
- Most strategies present good and similar accuracy for higher sample size

Conclusion:



Random sampling is still a strong baseline, hard to beat.
Diversified distance-based sampling is a strong alternative.



Researchers should be aware that effectiveness of sampling strategies can be biased by inputs and performance property.

Replicability



Fully replicable experiment

- Dataset for video encoding time and size available
- Docker image with all data and scripts for performance prediction and results aggregation: <https://github.com/jualvespereira/ICPE2020>

What next?

- How do version and hardware affect the sampling effectiveness?
- How does the machine learning technique affect the sampling effectiveness?