



سنسورهای IIEES-HAT

آزمایش نرخ نمونه برداری سنسورهای HAT و آزمون های ساعت داخلی



پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

دی ماه ۱۳۹۴

۵- فهرست مطالب

۱	آزمایش نرخ نمونه برداری سنسورهای HAT و آزمونهای ساعت داخلی سنسور.....
۱-۱	مقدمه.....
۱-۲	شرح آزمایش.....
۱-۳	نتایج آزمایشات.....
۱-۳-۱	نتایج آزمایش برای نرخ نمونه برداری ۵۰ نمونه بر ثانیه.....
۱-۳-۲	نتایج آزمایش برای نرخ نمونه برداری ۱۰۰ نمونه بر ثانیه.....
۱-۳-۳	نتایج آزمایش برای نرخ نمونه برداری ۲۰۰ نمونه بر ثانیه.....
۱-۴	جمع بندی و نتیجه گیری.....

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: نمونه ای از بارهای ضربه ای بر سنسورها ۲
- شکل ۲-۱: نحوه ی اتصال دستگاه و ایجاد ضربه واحد در سنسورها ۳
- شکل ۳-۱: نحوه ی انجام آزمایش کنترل نرخ نمونه برداری در گرمکن ۴
- شکل ۴-۱: نحوه ی انجام آزمایش کنترل نرخ نمونه برداری در سردکن ۵
- شکل ۵-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای محیطی) ۸
- شکل ۶-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد (۱۹- درجه سیلیسیوس) ۱۰
- شکل ۷-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد (۱۹- درجه سیلیسیوس) ۱۲
- شکل ۸-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای محیطی) ۱۴
- شکل ۹-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد (۱۹- درجه سیلیسیوس) ۱۶
- شکل ۱۰-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در شرایط دمای گرم (۶۰ درجه سیلیسیوس) ۱۸
- شکل ۱۱-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای محیطی) ۲۰
- شکل ۱۲-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد (۱۹- درجه سیلیسیوس) ۲۲
- شکل ۱۳-۱: نمودار نمونه های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در شرایط دمای گرم (۶۰ درجه سیلیسیوس) ۲۴

فهرست جداول

جدول ۱-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی	۷
جدول ۲-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی	۹
جدول ۳-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی	۱۱
جدول ۴-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تایی	۱۳
جدول ۵-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تایی	۱۵
جدول ۶-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تایی	۱۷
جدول ۷-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تایی	۱۹
جدول ۸-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تایی	۲۱
جدول ۹-۱: شماره اندیسهای مقادیر ماکزیمم (ضربه های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تایی	۲۳
جدول ۱۰-۱: نحوه عملکرد سنسورهای HAT در شرایط دمایی متفاوت در نرخ نمونه برداری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰	۲۵

۱) آزمایش نرخ نمونه برداری سنسورهای HAT و آزمون های ساعت داخلی سنسور

۱-۱) مقدمه

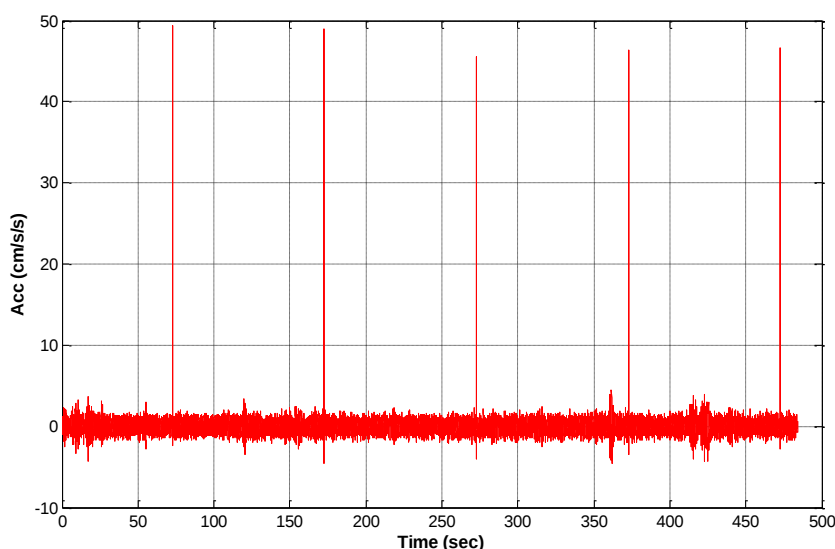
یکی از شاخصه های مهم در طراحی سنسورهای شتابنگاری توجه به نرخ نمونه برداری سنسورها می باشد. در مباحث پردازش سیگنال نرخ نمونه برداری باید حداقل دو برابر فرکانس مدنظر در نظر گرفته شود. سنسورهای شتابنگاری HAT می توانند سیگنال ورودی را با سه نرخ نمونه برداری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ نمونه بر ثانیه برداشت نمایند که در این بخش شرح آزمایش هایی که در راستای کنترل صحت عملکرد این سنسورها و کنترل دقت نرخ نمونه برداری آنها انجام شده است، ارائه خواهد شد.

لازم به ذکر است که نرخ نمونه برداری سنسور بر اساس ساعت داخلی سنسور تنظیم می گردد. در ساعت داخلی سنسورهای HAT از کریستال کوارتز با فرکانس 40K استفاده شده است. کریستالهای کوارتز به تغییرات درجه حرارت حساس بوده و با تغییرات دما دقت آنها تغییر می کند. در این گزارش به موضوع میزان دقت ساعت داخلی سنسورهای HAT بر اساس دما پرداخته شده است.

۱-۲) شرح آزمایش

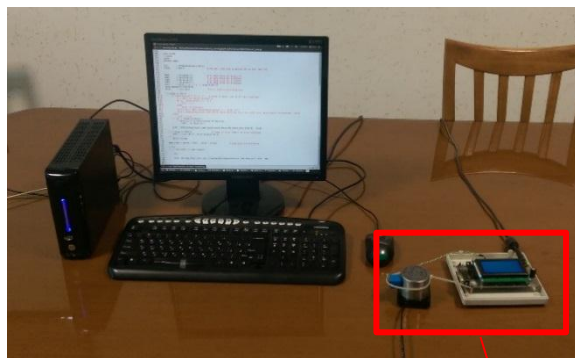
همانگونه که اشاره گردید یکی از پارامترهای مهم طراحی سنسورهای شتابنگاری نرخ نمونه برداری می باشد. بر این اساس برای کنترل صحت عملکرد نرخ نمونه برداری سنسورهای HAT آزمایش هایی صورت پذیرفته است. روند انجام آزمایش ها بدین صورت است که ضربه های واحدی در بازه های زمانی ثابت (۱۰۰ ثانیه) به سنسورها اعمال

می‌گردد و اندیس مقادیر حداکثر دامنه کنترل می‌گردد. در صورت عملکرد مناسب سنسورها، اختلاف اندیس مقادیر حداکثر دو ضربه واحد متوالی باید برابر با نرخ نمونه‌برداری ضربدر ۱۰۰ (فاصله زمانی ضربه‌های واحد) باشد. به عنوان مثال اگر نرخ نمونه برداری برابر با ۵۰ در نظر گرفته شده باشد، در این صورت اختلاف اندیس‌های مقادیر حداکثر باید برابر با $100 \times 50 = 5000$ باشد. در شکل ۱-۱ نمونه‌ای از ضربه‌های واحد اعمالی بر سنسورها نمایش داده است.



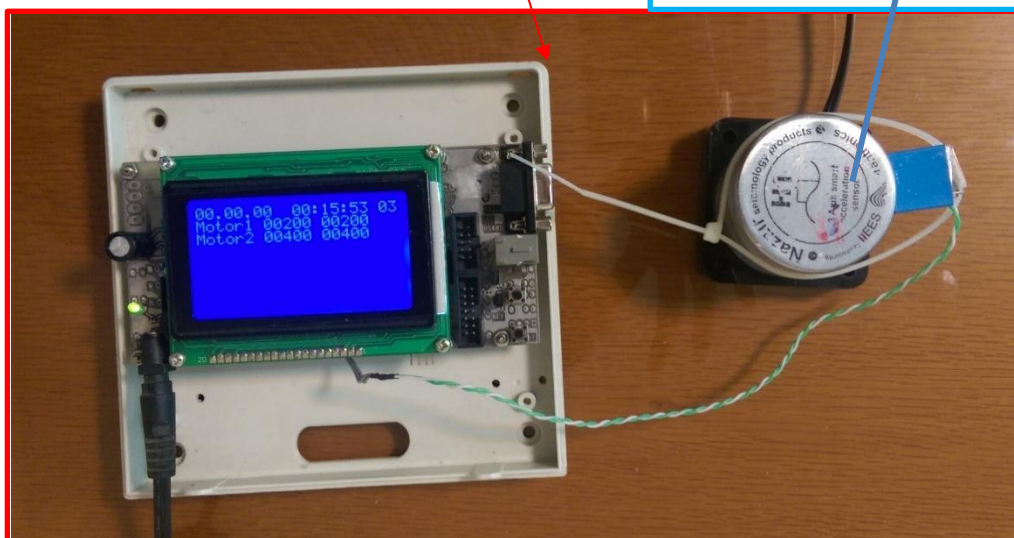
شکل ۱-۱: نمونه‌ای از بارهای ضربه‌ای بر سنسورها

لازم به ذکر است برای اعمال ضربه واحد به سنسورها از دستگاهی با دقت زمانی بالاتر نسبت به سنسورهای HAT استفاده شده است. کریستال استفاده شده در دستگاه مرجع دارای فرکانس $1e6$ می‌باشد. به عبارت دیگر میزان خطای دستگاهی که ضربه‌های واحد را به سنسور اعمال می‌کند کمتر از میزان خطای زمانی سنسورهای HAT می‌باشد. در شکل ۲-۱ نحوه‌ی اتصال دستگاه به سنسورها نمایش داده شده است و اعمال ضربه واحد به سنسورها نمایش داده شده است.



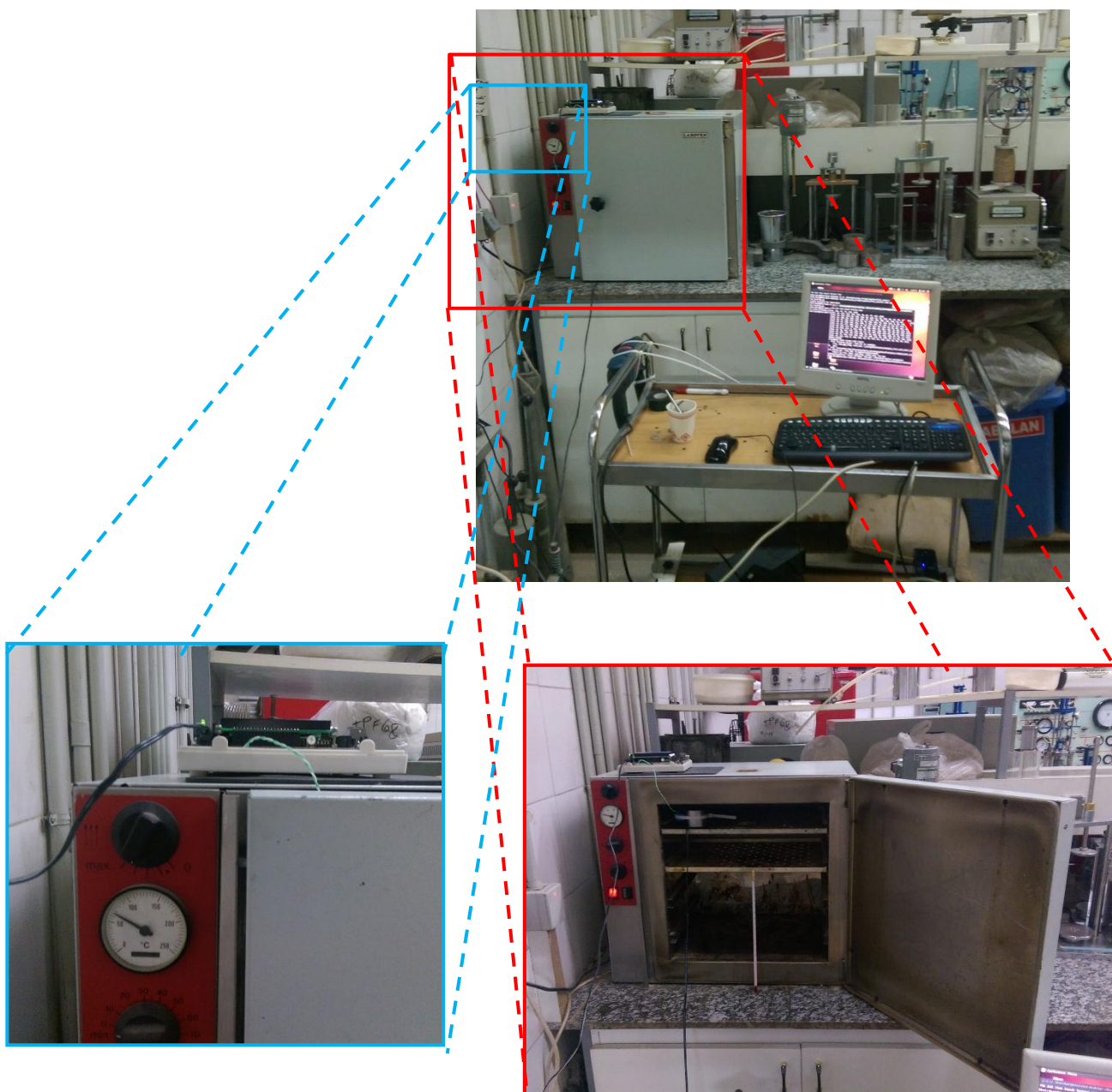
ضربه واحد توسط این قطعه به سنسور اعمال

می گردد



شکل ۱-۲: نحوه ی اتصال دستگاه و ایجاد ضربه واحد در سنسورها

لازم به ذکر است که برای هر نرخ نمونه برداری آزمایش فوق در شرایط دمایی مختلف (دمای محیطی، سردکن (فریز) و گرم کن) و به مدت حداقل به مدت ۲۴ ساعت انجام شده است. در شکل ۱-۳ و شکل ۱-۴ نحوه ی انجام آزمایش در گرم کن و سردکن (فریزر) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در تمامی موارد دستگاه مرجع در دمای محیط می باشد. به عبارت دیگر دمای دستگاه مرجع در کلیه آزمایشها ثابت نگاه داشته شده است. در ادامه نتایج آزمایشها برای سه نرخ نمونه برداری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ نمونه بر ثانیه ارائه خواهد شد.



شکل ۱-۳: نحوه انجام آزمایش کنترل نرخ نمونه برداری در گرم کن



۳-۱) نتایج آزمایشات

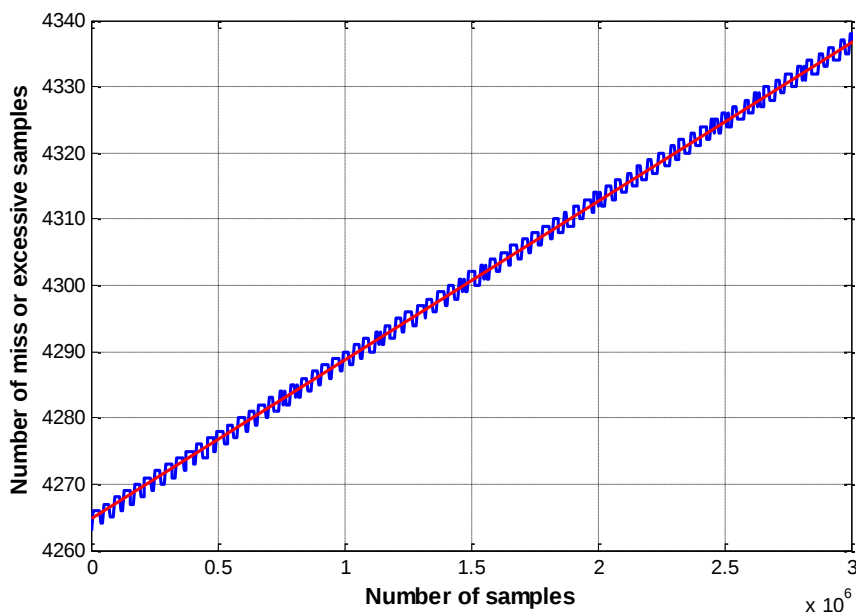
۱-۳-۱) نتایج آزمایش برای نرخ نمونه برداری ۵۰ نمونه بر ثانیه

بر اساس آنچه که در بخش شرح آزمایش ارائه گشت برای نرخ نمونه برداری ۵۰ نمونه در ثانیه اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی برای باید برابر $(50 \times \text{فاصله زمانی ضربه‌های واحد (۱۰۰ ثانیه)})$ ۵۰۰۰ گردد. در جدول ۱-۱ مقادیر اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه برای آزمایش در دمای محیطی ارائه شده است. برای برآورد بهتر نحوه عملکرد نرخ نمونه برداری سنسورها در شکل ۱-۵ اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است که بر روی آن از مقدار داده‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی، خطی برازش شده است. بر این اساس شیب خط حاصله بیانگر مقدار داده از دست رفته و یا

اضافی در هر ثانیه می باشد که مقدار آن برابر 2.3947×10^{-5} می باشد. بنابراین می توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه برداری ۵۰ نمونه در ثانیه، در هر ۴۱۷۵۹ نمونه تقریباً یک نمونه اضافی گزارش می نمایند ($2.3947 \times 10^{-5} \times 41759 = 1$). همانطور که در شکل ۵-۱ و جدول ۱-۱ مشخص می باشد، در این نرخ نمونه برداری، داده های برداشت شده توسط سنسور بجز گزارش یک نمونه اضافی در هر ۴۱۷۵۹ نمونه، بصورت هارمونیک تقریباً در هر ۲۰۰۰۰ نمونه ۳ داده اضافی و متعاقباً در ۲۰۰۰۰ نمونه بعدی ۳ نمونه را کمتر گزارش می نمایند.

جدول ۱-۱: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	4263	-2500	2500	46	4271	222500	227500
2	4266	2500	7500	47	4271	227500	232500
3	4266	7500	12500	48	4271	232500	237500
4	4266	12500	17500	49	4269	237500	242500
5	4266	17500	22500	50	4269	242500	247500
6	4266	22500	27500	51	4272	247500	252500
7	4266	27500	32500	52	4272	252500	257500
8	4264	32500	37500	53	4272	257500	262500
9	4264	37500	42500	54	4272	262500	267500
10	4264	42500	47500	55	4272	267500	272500
11	4267	47500	52500	56	4270	272500	277500
12	4267	52500	57500	57	4270	277500	282500
13	4267	57500	62500	58	4270	282500	287500
14	4267	62500	67500	59	4270	287500	292500
15	4267	67500	72500	60	4273	292500	297500
16	4265	72500	77500	61	4273	297500	302500
17	4265	77500	82500	62	4273	302500	307500
18	4265	82500	87500	63	4273	307500	312500
19	4268	87500	92500	64	4273	312500	317500
20	4268	92500	97500	65	4271	317500	322500
21	4268	97500	102500	66	4271	322500	327500
22	4268	102500	107500	67	4271	327500	332500
23	4268	107500	112500	68	4274	332500	337500
24	4266	112500	117500	69	4274	337500	342500
25	4266	117500	122500	70	4274	342500	347500
26	4266	122500	127500	71	4274	347500	352500
27	4269	127500	132500	72	4274	352500	357500
28	4269	132500	137500	73	4274	357500	362500
29	4269	137500	142500	74	4272	362500	367500
30	4269	142500	147500	75	4272	367500	372500
31	4269	147500	152500	76	4275	372500	377500
32	4267	152500	157500	77	4275	377500	382500
33	4267	157500	162500	78	4275	382500	387500
34	4267	162500	167500	79	4275	387500	392500
35	4270	167500	172500	80	4275	392500	397500
36	4270	172500	177500	81	4275	397500	402500
37	4270	177500	182500	82	4273	402500	407500
38	4270	182500	187500	83	4273	407500	412500
39	4270	187500	192500	84	4276	412500	417500
40	4268	192500	197500	85	4276	417500	422500
41	4268	197500	202500	86	4276	422500	427500
42	4268	202500	207500	87	4276	427500	432500
43	4271	207500	212500	88	4276	432500	437500
44	4271	212500	217500	89	4274	437500	442500
45	4271	217500	222500	90	4274	442500	447500

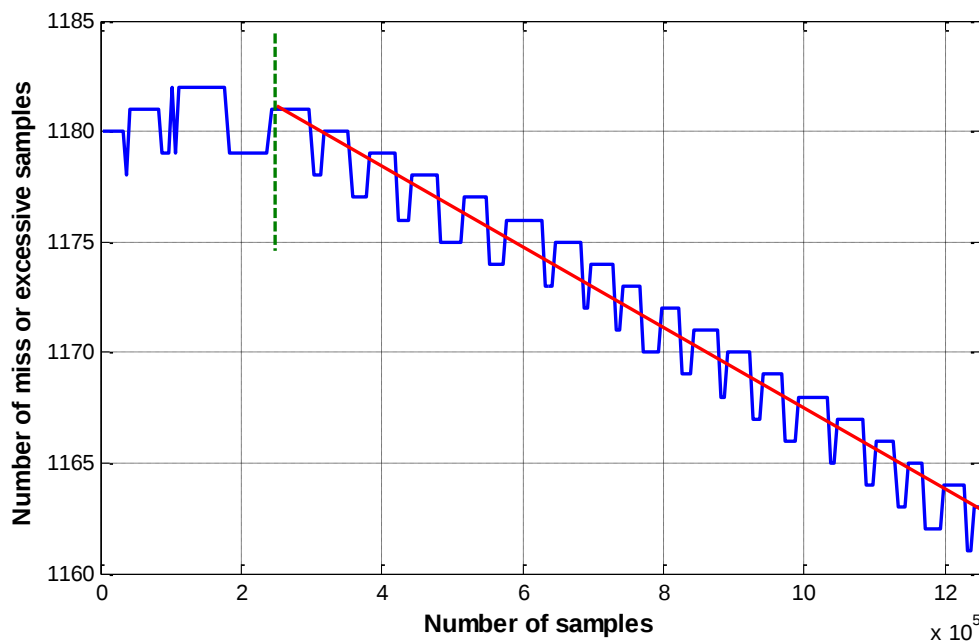


شکل ۵-۱: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای محیطی)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی متفاوت، آزمایش فوق در سردکن (فریزر) نیز انجام شده است که در جدول ۱-۲ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۱-۶ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر -1.8270×10^{-5} می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه‌برداری ۵۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی سرد (در دمای ۱۹- درجه سلیوس)، در هر ۵۴۷۳۴ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($1.8270 \times 10^{-5} \times 54734 = 1$). همانطور که در شکل ۱-۶ مشخص می‌باشد، در این نرخ نمونه‌برداری، همانند شرایط دمایی محیطی، داده‌های برداشت شده توسط سنسور بجز از دست دادن یک نمونه در هر ۵۴۷۳۴ نمونه، بصورت هارمونیک تقریباً در هر ۳۵۰۰۰ نمونه ۳ داده اضافی و متعاقباً در ۳۵۰۰۰ نمونه بعدی ۳ نمونه را کمتر گزارش می‌نمایند. لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۱-۶ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد (انتقال از دمای محیطی به سردکن).

جدول ۱-۲: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	1180	-2500	2500	46	1179	222500	227500
2	1180	2500	7500	47	1179	227500	232500
3	1180	7500	12500	48	1179	232500	237500
4	1180	12500	17500	49	1181	237500	242500
5	1180	17500	22500	50	1181	242500	247500
6	1180	22500	27500	51	1181	247500	252500
7	1180	27500	32500	52	1181	252500	257500
8	1178	32500	37500	53	1181	257500	262500
9	1181	37500	42500	54	1181	262500	267500
10	1181	42500	47500	55	1181	267500	272500
11	1181	47500	52500	56	1181	272500	277500
12	1181	52500	57500	57	1181	277500	282500
13	1181	57500	62500	58	1181	282500	287500
14	1181	62500	67500	59	1181	287500	292500
15	1181	67500	72500	60	1181	292500	297500
16	1181	72500	77500	61	1178	297500	302500
17	1181	77500	82500	62	1178	302500	307500
18	1179	82500	87500	63	1178	307500	312500
19	1179	87500	92500	64	1180	312500	317500
20	1179	92500	97500	65	1180	317500	322500
21	1182	97500	102500	66	1180	322500	327500
22	1179	102500	107500	67	1180	327500	332500
23	1182	107500	112500	68	1180	332500	337500
24	1182	112500	117500	69	1180	337500	342500
25	1182	117500	122500	70	1180	342500	347500
26	1182	122500	127500	71	1180	347500	352500
27	1182	127500	132500	72	1177	352500	357500
28	1182	132500	137500	73	1177	357500	362500
29	1182	137500	142500	74	1177	362500	367500
30	1182	142500	147500	75	1177	367500	372500
31	1182	147500	152500	76	1177	372500	377500
32	1182	152500	157500	77	1179	377500	382500
33	1182	157500	162500	78	1179	382500	387500
34	1182	162500	167500	79	1179	387500	392500
35	1182	167500	172500	80	1179	392500	397500
36	1182	172500	177500	81	1179	397500	402500
37	1179	177500	182500	82	1179	402500	407500
38	1179	182500	187500	83	1179	407500	412500
39	1179	187500	192500	84	1179	412500	417500
40	1179	192500	197500	85	1176	417500	422500
41	1179	197500	202500	86	1176	422500	427500
42	1179	202500	207500	87	1176	427500	432500
43	1179	207500	212500	88	1176	432500	437500
44	1179	212500	217500	89	1178	437500	442500
45	1179	217500	222500	90	1178	442500	447500



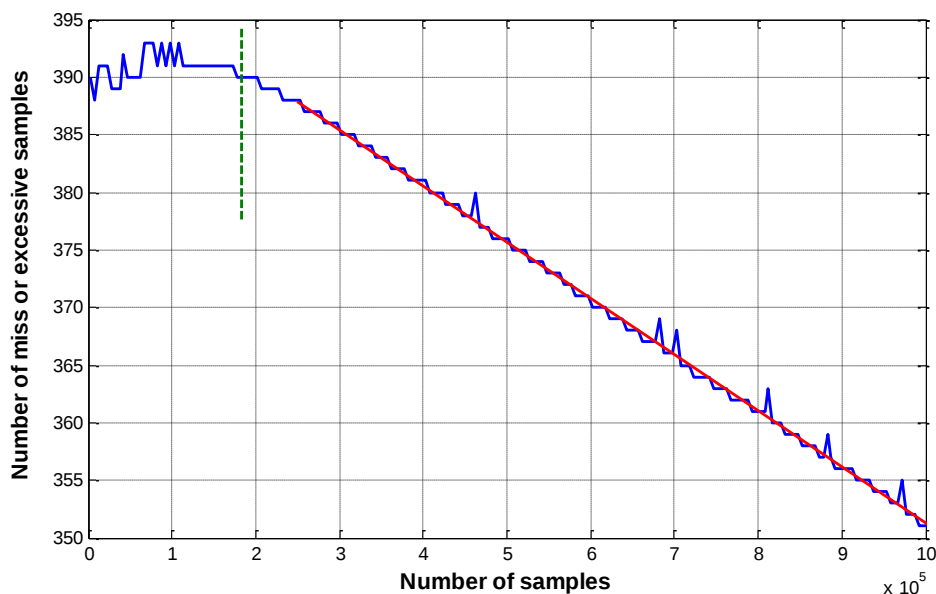
شکل ۱-۶: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد

(۱۹- درجه سلیسیوس)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی گرم، آزمایش فوق در گرم‌کن (oven) نیز انجام شده است که در جدول ۱-۳ جدول ۱-۶ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۱-۷ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر $e-5-2.0452$ می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه-برداری ۵۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی گرم (در دمای ۶۰ درجه سلیسیوس)، در هر ۲۰۴۵۲ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($2.0452-e5 \times 20452 = 1$). لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۱-۱۰ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد.

جدول ۱-۳: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۵۰۰۰ تایی

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	390	-2500	2500	46	389	222500	227500
2	388	2500	7500	47	388	227500	232500
3	391	7500	12500	48	388	232500	237500
4	391	12500	17500	49	388	237500	242500
5	391	17500	22500	50	388	242500	247500
6	389	22500	27500	51	388	247500	252500
7	389	27500	32500	52	387	252500	257500
8	389	32500	37500	53	387	257500	262500
9	392	37500	42500	54	387	262500	267500
10	390	42500	47500	55	387	267500	272500
11	390	47500	52500	56	387	272500	277500
12	390	52500	57500	57	386	277500	282500
13	390	57500	62500	58	386	282500	287500
14	393	62500	67500	59	386	287500	292500
15	393	67500	72500	60	386	292500	297500
16	393	72500	77500	61	385	297500	302500
17	391	77500	82500	62	385	302500	307500
18	393	82500	87500	63	385	307500	312500
19	391	87500	92500	64	385	312500	317500
20	393	92500	97500	65	384	317500	322500
21	391	97500	102500	66	384	322500	327500
22	393	102500	107500	67	384	327500	332500
23	391	107500	112500	68	384	332500	337500
24	391	112500	117500	69	383	337500	342500
25	391	117500	122500	70	383	342500	347500
26	391	122500	127500	71	383	347500	352500
27	391	127500	132500	72	383	352500	357500
28	391	132500	137500	73	382	357500	362500
29	391	137500	142500	74	382	362500	367500
30	391	142500	147500	75	382	367500	372500
31	391	147500	152500	76	382	372500	377500
32	391	152500	157500	77	381	377500	382500
33	391	157500	162500	78	381	382500	387500
34	391	162500	167500	79	381	387500	392500
35	391	167500	172500	80	381	392500	397500
36	390	172500	177500	81	381	397500	402500
37	390	177500	182500	82	380	402500	407500
38	390	182500	187500	83	380	407500	412500
39	390	187500	192500	84	380	412500	417500
40	390	192500	197500	85	380	417500	422500
41	390	197500	202500	86	379	422500	427500
42	389	202500	207500	87	379	427500	432500
43	389	207500	212500	88	379	432500	437500
44	389	212500	217500	89	379	437500	442500
45	389	217500	222500	90	378	442500	447500



شکل ۱-۷: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد

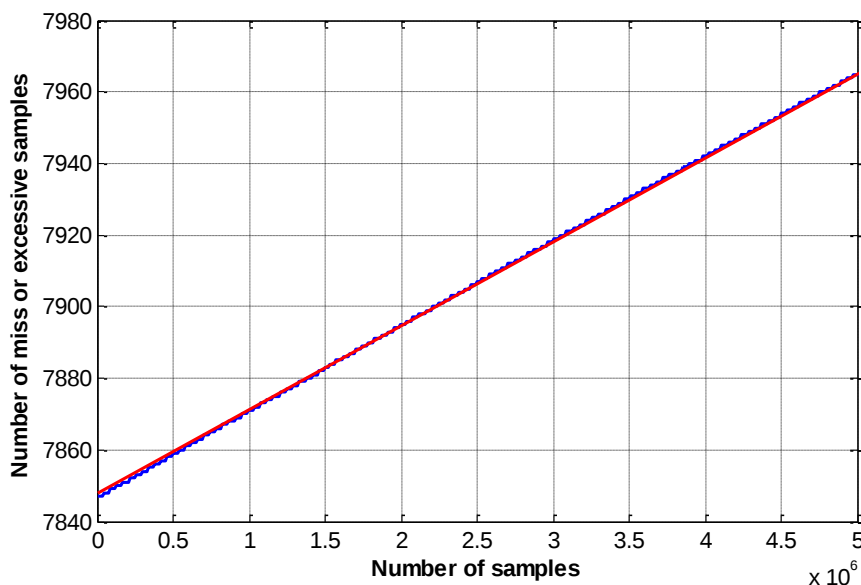
(۱۹- درجه سلیسیوس)

۱-۳-۲) نتایج آزمایش برای نرخ نمونه برداری ۱۰۰ نمونه بر ثانیه

بر اساس آنچه که در بخش شرح آزمایش ارائه گشت برای نرخ نمونه برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد مترالی برای باید برابر $(100 \times \text{فاصله زمانی ضربه‌های واحد (۱۰۰ ثانیه)})$ گردد. در جدول ۱-۴ مقادیر اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه برای آزمایش در دمای محیطی ارائه شده است. برای برآورد بهتر نحوه عملکرد نرخ نمونه برداری سنسورها در شکل ۱-۸ اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است که بر روی آن از مقدار داده‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی خطی برازش شده است. بر این اساس شیب خط حاصله بیانگر مقدار داده از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در هر ثانیه می‌باشد که مقدار آن برابر 2.3418×10^{-5} می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه، در هر 42702 نمونه تقریباً یک نمونه اضافی گزارش می‌نمایند $(1 = 2.3418 \times 10^{-5} \times 42702)$.

جدول ۱-۴: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	7847	-5000	5000	46	7858	445000	455000
2	7847	5000	15000	47	7858	455000	465000
3	7847	15000	25000	48	7858	465000	475000
4	7847	25000	35000	49	7858	475000	485000
5	7848	35000	45000	50	7859	485000	495000
6	7848	45000	55000	51	7859	495000	505000
7	7848	55000	65000	52	7859	505000	515000
8	7848	65000	75000	53	7859	515000	525000
9	7849	75000	85000	54	7859	525000	535000
10	7849	85000	95000	55	7860	535000	545000
11	7849	95000	105000	56	7860	545000	555000
12	7849	105000	115000	57	7860	555000	565000
13	7850	115000	125000	58	7860	565000	575000
14	7850	125000	135000	59	7861	575000	585000
15	7850	135000	145000	60	7861	585000	595000
16	7850	145000	155000	61	7861	595000	605000
17	7851	155000	165000	62	7861	605000	615000
18	7851	165000	175000	63	7862	615000	625000
19	7851	175000	185000	64	7862	625000	635000
20	7851	185000	195000	65	7862	635000	645000
21	7851	195000	205000	66	7862	645000	655000
22	7852	205000	215000	67	7863	655000	665000
23	7852	215000	225000	68	7863	665000	675000
24	7852	225000	235000	69	7863	675000	685000
25	7852	235000	245000	70	7863	685000	695000
26	7853	245000	255000	71	7864	695000	705000
27	7853	255000	265000	72	7864	705000	715000
28	7853	265000	275000	73	7864	715000	725000
29	7853	275000	285000	74	7864	725000	735000
30	7854	285000	295000	75	7865	735000	745000
31	7854	295000	305000	76	7865	745000	755000
32	7854	305000	315000	77	7865	755000	765000
33	7854	315000	325000	78	7865	765000	775000
34	7855	325000	335000	79	7866	775000	785000
35	7855	335000	345000	80	7866	785000	795000
36	7855	345000	355000	81	7866	795000	805000
37	7855	355000	365000	82	7866	805000	815000
38	7856	365000	375000	83	7867	815000	825000
39	7856	375000	385000	84	7867	825000	835000
40	7856	385000	395000	85	7867	835000	845000
41	7856	395000	405000	86	7867	845000	855000
42	7857	405000	415000	87	7868	855000	865000
43	7857	415000	425000	88	7868	865000	875000
44	7857	425000	435000	89	7868	875000	885000
45	7857	435000	445000	90	7868	885000	895000

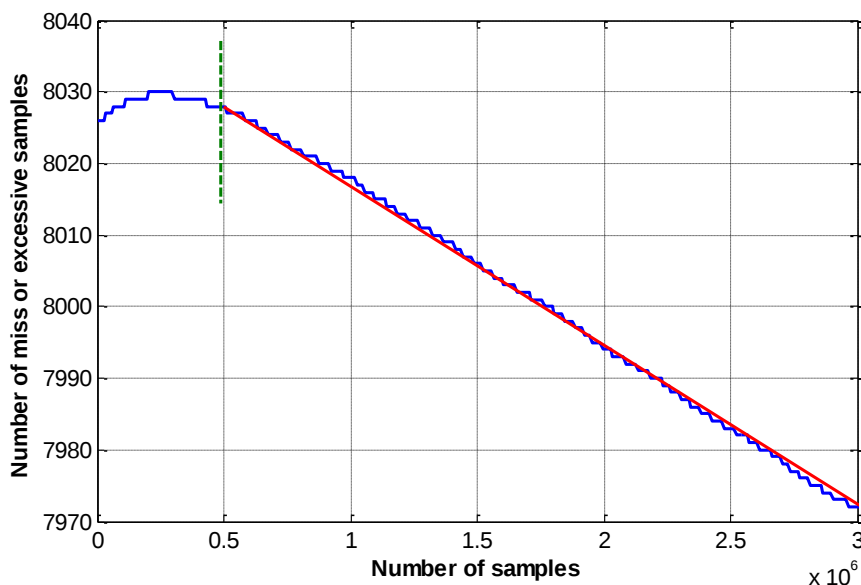


شکل ۸-۱: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای محیطی)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی متفاوت، آزمایش فوق در سردکن (فریزر) نیز انجام شده است که در جدول ۱-۵ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۹-۱ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر $e-5-2.2274$ می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی سرد (در دمای ۱۹- درجه سلیوس)، در هر ۴۴۸۹۶ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($2.2274-e5 \times 44896 = 1$). لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۹-۱ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد.

جدول ۱-۵: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تا بی

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	8026	-5000	5000	46	8028	445000	455000
2	8026	5000	15000	47	8028	455000	465000
3	8026	15000	25000	48	8028	465000	475000
4	8027	25000	35000	49	8028	475000	485000
5	8027	35000	45000	50	8028	485000	495000
6	8027	45000	55000	51	8028	495000	505000
7	8028	55000	65000	52	8027	505000	515000
8	8028	65000	75000	53	8027	515000	525000
9	8028	75000	85000	54	8027	525000	535000
10	8028	85000	95000	55	8027	535000	545000
11	8028	95000	105000	56	8027	545000	555000
12	8029	105000	115000	57	8027	555000	565000
13	8029	115000	125000	58	8027	565000	575000
14	8029	125000	135000	59	8026	575000	585000
15	8029	135000	145000	60	8026	585000	595000
16	8029	145000	155000	61	8026	595000	605000
17	8029	155000	165000	62	8026	605000	615000
18	8029	165000	175000	63	8026	615000	625000
19	8029	175000	185000	64	8025	625000	635000
20	8029	185000	195000	65	8025	635000	645000
21	8030	195000	205000	66	8025	645000	655000
22	8030	205000	215000	67	8025	655000	665000
23	8030	215000	225000	68	8024	665000	675000
24	8030	225000	235000	69	8024	675000	685000
25	8030	235000	245000	70	8024	685000	695000
26	8030	245000	255000	71	8024	695000	705000
27	8030	255000	265000	72	8024	705000	715000
28	8030	265000	275000	73	8023	715000	725000
29	8030	275000	285000	74	8023	725000	735000
30	8030	285000	295000	75	8023	735000	745000
31	8029	295000	305000	76	8023	745000	755000
32	8029	305000	315000	77	8022	755000	765000
33	8029	315000	325000	78	8022	765000	775000
34	8029	325000	335000	79	8022	775000	785000
35	8029	335000	345000	80	8022	785000	795000
36	8029	345000	355000	81	8022	795000	805000
37	8029	355000	365000	82	8021	805000	815000
38	8029	365000	375000	83	8021	815000	825000
39	8029	375000	385000	84	8021	825000	835000
40	8029	385000	395000	85	8021	835000	845000
41	8029	395000	405000	86	8021	845000	855000
42	8029	405000	415000	87	8021	855000	865000
43	8029	415000	425000	88	8020	865000	875000
44	8028	425000	435000	89	8020	875000	885000
45	8028	435000	445000	90	8020	885000	895000



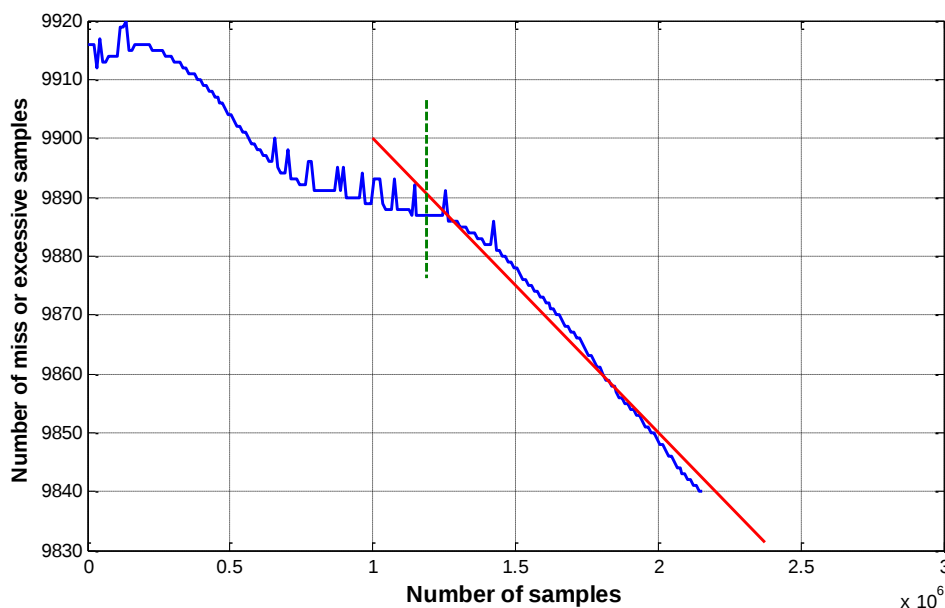
شکل ۱-۹: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد

(۱۹- درجه سلیسیوس)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی گرم، آزمایش فوق در گرم‌کن (oven) نیز انجام شده است که در جدول ۱-۶ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۱-۱۰ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر $5-4.825 \times 10^{-5}$ می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه-برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی گرم (در دمای ۶۰ درجه سلیسیوس)، در هر ۲۰۷۲۶ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($4.825 \times 10^{-5} \times 20726 = 1$). لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۱-۱۰ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد.

جدول ۱-۶: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۱۰۰۰۰ تا بی

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	9916	-5000	5000	46	9907	445000	455000
2	9916	5000	15000	47	9906	455000	465000
3	9916	15000	25000	48	9906	465000	475000
4	9912	25000	35000	49	9905	475000	485000
5	9917	35000	45000	50	9904	485000	495000
6	9913	45000	55000	51	9904	495000	505000
7	9913	55000	65000	52	9903	505000	515000
8	9914	65000	75000	53	9902	515000	525000
9	9914	75000	85000	54	9902	525000	535000
10	9914	85000	95000	55	9901	535000	545000
11	9914	95000	105000	56	9901	545000	555000
12	9919	105000	115000	57	9900	555000	565000
13	9919	115000	125000	58	9899	565000	575000
14	9920	125000	135000	59	9899	575000	585000
15	9915	135000	145000	60	9898	585000	595000
16	9915	145000	155000	61	9898	595000	605000
17	9916	155000	165000	62	9897	605000	615000
18	9916	165000	175000	63	9897	615000	625000
19	9916	175000	185000	64	9896	625000	635000
20	9916	185000	195000	65	9896	635000	645000
21	9916	195000	205000	66	9900	645000	655000
22	9916	205000	215000	67	9895	655000	665000
23	9915	215000	225000	68	9894	665000	675000
24	9915	225000	235000	69	9894	675000	685000
25	9915	235000	245000	70	9894	685000	695000
26	9915	245000	255000	71	9898	695000	705000
27	9915	255000	265000	72	9893	705000	715000
28	9914	265000	275000	73	9893	715000	725000
29	9914	275000	285000	74	9893	725000	735000
30	9914	285000	295000	75	9892	735000	745000
31	9913	295000	305000	76	9892	745000	755000
32	9913	305000	315000	77	9892	755000	765000
33	9913	315000	325000	78	9896	765000	775000
34	9912	325000	335000	79	9896	775000	785000
35	9912	335000	345000	80	9891	785000	795000
36	9911	345000	355000	81	9891	795000	805000
37	9911	355000	365000	82	9891	805000	815000
38	9911	365000	375000	83	9891	815000	825000
39	9910	375000	385000	84	9891	825000	835000
40	9910	385000	395000	85	9891	835000	845000
41	9909	395000	405000	86	9891	845000	855000
42	9909	405000	415000	87	9891	855000	865000
43	9908	415000	425000	88	9895	865000	875000
44	9908	425000	435000	89	9891	875000	885000
45	9907	435000	445000	90	9895	885000	895000



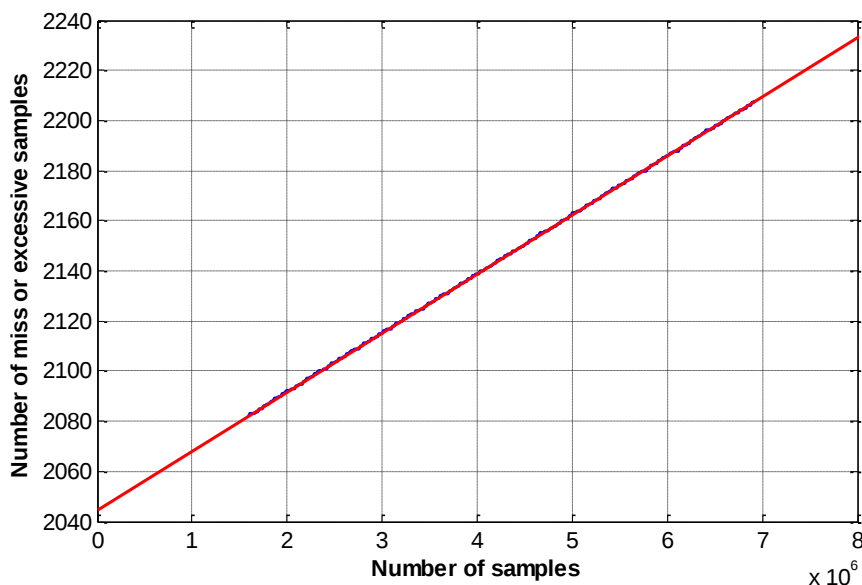
شکل ۱-۱۰: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در شرایط دمای گرم (۶۰ درجه سلیسیوس)

۳-۳-۱ نتایج آزمایش برای نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ نمونه بر ثانیه

بر اساس آنچه که در بخش شرح آزمایش ارائه گشت برای نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ نمونه در ثانیه اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد مترالی برای باید برابر $(200 \times \text{فاصله زمانی ضربه‌های واحد (۱۰۰ ثانیه)})$ ۲۰۰۰۰ گردد. در جدول ۱-۷ مقادیر اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه برای آزمایش در دمای محیطی ارائه شده است. برای برآورد بهتر نحوه عملکرد نرخ نمونه‌برداری سنسورها در شکل ۱-۱۱ اختلاف اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است که بر روی آن از مقدار داده‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی خطی برازش شده است. بر این اساس شیب خط حاصله بیانگر مقدار داده از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در هر ثانیه می‌باشد که مقدار آن برابر 2.3527×10^{-5} می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ نمونه در ثانیه، در هر 42502 نمونه تقریباً یک نمونه اضافی گزارش می‌نمایند $(2.3527 \times 10^{-5} \times 42502 = 1)$.

جدول ۷-۱: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	2045	-10000	10000	46	2066	870000	890000
2	2045	10000	30000	47	2066	890000	910000
3	2046	30000	50000	48	2067	910000	930000
4	2046	50000	70000	49	2067	930000	950000
5	2047	70000	90000	50	2068	950000	970000
6	2047	90000	110000	51	2068	970000	990000
7	2048	110000	130000	52	2069	990000	1010000
8	2048	130000	150000	53	2069	1010000	1030000
9	2049	150000	170000	54	2070	1030000	1050000
10	2049	170000	190000	55	2070	1050000	1070000
11	2049	190000	210000	56	2071	1070000	1090000
12	2050	210000	230000	57	2071	1090000	1110000
13	2050	230000	250000	58	2072	1110000	1130000
14	2051	250000	270000	59	2072	1130000	1150000
15	2051	270000	290000	60	2073	1150000	1170000
16	2052	290000	310000	61	2073	1170000	1190000
17	2052	310000	330000	62	2074	1190000	1210000
18	2053	330000	350000	63	2074	1210000	1230000
19	2053	350000	370000	64	2074	1230000	1250000
20	2054	370000	390000	65	2075	1250000	1270000
21	2054	390000	410000	66	2075	1270000	1290000
22	2055	410000	430000	67	2076	1290000	1310000
23	2055	430000	450000	68	2076	1310000	1330000
24	2056	450000	470000	69	2077	1330000	1350000
25	2056	470000	490000	70	2077	1350000	1370000
26	2056	490000	510000	71	2078	1390000	1410000
27	2057	510000	530000	72	2078	1410000	1430000
28	2057	530000	550000	73	2079	1430000	1450000
29	2058	550000	570000	74	2079	1450000	1470000
30	2058	570000	590000	75	2080	1470000	1490000
31	2059	590000	610000	76	2080	1490000	1510000
32	2059	610000	630000	77	2081	1510000	1530000
33	2060	630000	650000	78	2081	1530000	1550000
34	2060	650000	670000	79	2082	1550000	1570000
35	2061	670000	690000	80	2082	1570000	1590000
36	2061	670000	690000	81	2083	1590000	1610000
37	2062	690000	710000	82	2083	1610000	1630000
38	2062	710000	730000	83	2083	1630000	1650000
39	2063	730000	750000	84	2084	1650000	1670000
40	2063	750000	770000	85	2084	1670000	1690000
41	2064	770000	790000	86	2085	1690000	1710000
42	2064	790000	810000	87	2085	1710000	1730000
43	2065	810000	830000	88	2086	1730000	1750000
44	2065	830000	850000	89	2086	1750000	1770000
45	2065	850000	870000	90	2087	1770000	1790000



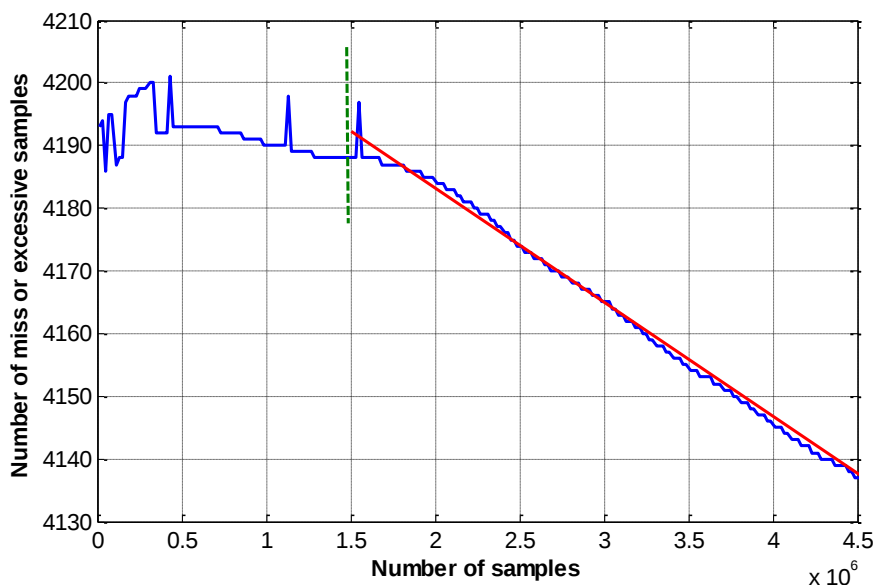
شکل ۱-۱: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای

محیطی)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی متفاوت، آزمایش فوق در سردکن (فریزر) نیز انجام شده است که در جدول ۸-۱ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۱۲-۱ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر $e-5-1.8229$ می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی سرد (در دمای ۱۹- درجه سلیوس)، در هر ۵۴۸۵۷ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($1.8229-e5 \times 54857 = 1$). لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۱۲-۱ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد.

جدول ۸-۱: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	4193	-10000	10000	46	4191	870000	890000
2	4194	10000	30000	47	4191	890000	910000
3	4186	30000	50000	48	4191	910000	930000
4	4195	50000	70000	49	4191	930000	950000
5	4195	70000	90000	50	4190	950000	970000
6	4187	90000	110000	51	4190	970000	990000
7	4188	110000	130000	52	4190	990000	1010000
8	4188	130000	150000	53	4190	1010000	1030000
9	4197	150000	170000	54	4190	1030000	1050000
10	4198	170000	190000	55	4190	1050000	1070000
11	4198	190000	210000	56	4190	1070000	1090000
12	4198	210000	230000	57	4198	1090000	1110000
13	4199	230000	250000	58	4189	1110000	1130000
14	4199	250000	270000	59	4189	1130000	1150000
15	4199	270000	290000	60	4189	1150000	1170000
16	4200	290000	310000	61	4189	1170000	1190000
17	4200	310000	330000	62	4189	1190000	1210000
18	4192	330000	350000	63	4189	1210000	1230000
19	4192	350000	370000	64	4189	1230000	1250000
20	4192	370000	390000	65	4188	1250000	1270000
21	4192	390000	410000	66	4188	1270000	1290000
22	4201	410000	430000	67	4188	1290000	1310000
23	4193	430000	450000	68	4188	1310000	1330000
24	4193	450000	470000	69	4188	1330000	1350000
25	4193	470000	490000	70	4188	1350000	1370000
26	4193	490000	510000	71	4188	1390000	1410000
27	4193	510000	530000	72	4188	1410000	1430000
28	4193	530000	550000	73	4188	1430000	1450000
29	4193	550000	570000	74	4188	1450000	1470000
30	4193	570000	590000	75	4188	1470000	1490000
31	4193	590000	610000	76	4188	1490000	1510000
32	4193	610000	630000	77	4188	1510000	1530000
33	4193	630000	650000	78	4197	1530000	1550000
34	4193	650000	670000	79	4188	1550000	1570000
35	4193	670000	690000	80	4188	1570000	1590000
36	4193	670000	690000	81	4188	1590000	1610000
37	4192	690000	710000	82	4188	1610000	1630000
38	4192	710000	730000	83	4188	1630000	1650000
39	4192	730000	750000	84	4188	1650000	1670000
40	4192	750000	770000	85	4187	1670000	1690000
41	4192	770000	790000	86	4187	1690000	1710000
42	4192	790000	810000	87	4187	1710000	1730000
43	4192	810000	830000	88	4187	1730000	1750000
44	4191	830000	850000	89	4187	1750000	1770000
45	4191	850000	870000	90	4187	1770000	1790000



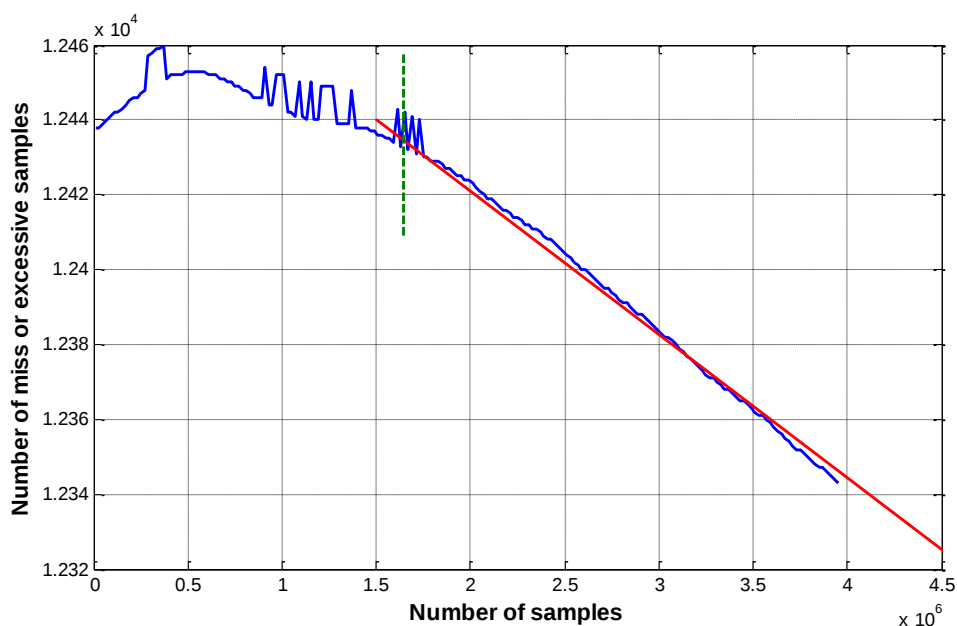
شکل ۱-۱۲: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در دمای سرد

(۱۹- درجه سلیسیوس)

برای کنترل نحوه‌ی عملکرد سنسورها در شرایط دمایی گرم، آزمایش فوق در گرم‌کن (oven) نیز انجام شده است که در جدول ۱-۹ اندیس ضربه‌های واحد برای ۹۰ ضربه واحد متوالی اولیه ارائه شده است. در شکل ۱-۱۳ مقادیر اندیس‌های ضربه‌های واحد متوالی در برابر تعداد کل نمونه‌ها نمایش داده است. در این شرایط دمایی شیب خط برازش شده برابر $e-5-3.8354$ می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت که سنسورهای HAT برای نرخ نمونه-برداری ۲۰۰ نمونه در ثانیه در شرایط دمایی گرم (در دمای ۶۰ درجه سلیسیوس)، در هر ۲۶۰۷۳ نمونه تقریباً یک نمونه داده از دست می‌دهد ($3.8354 - e5 \times 26073 = 1$). لازم به ذکر می‌باشد که نوسان‌های اولیه نمایش داده شده در شکل ۱-۱۳ (قبل از خط سبز) به دلیل عدم وفق‌پذیری سنسورها نسبت به شرایط دمایی جدید می‌باشد.

جدول ۹-۱: شماره اندیس‌های مقادیر ماکزیمم (ضربه‌های واحد) در بازه‌های ماتریسی ۲۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰

N pick	Index of maximum	Interval of indices		N pick	Index of maximum	Interval of indices	
		Min	Max			Min	Max
1	12438	-10000	10000	46	12454	870000	890000
2	12438	10000	30000	47	12444	890000	910000
3	12439	30000	50000	48	12444	910000	930000
4	12440	50000	70000	49	12452	930000	950000
5	12441	70000	90000	50	12452	950000	970000
6	12442	90000	110000	51	12452	970000	990000
7	12442	110000	130000	52	12442	990000	1010000
8	12443	130000	150000	53	12442	1010000	1030000
9	12444	150000	170000	54	12441	1030000	1050000
10	12445	170000	190000	55	12450	1050000	1070000
11	12446	190000	210000	56	12441	1070000	1090000
12	12446	210000	230000	57	12440	1090000	1110000
13	12447	230000	250000	58	12450	1110000	1130000
14	12448	250000	270000	59	12440	1130000	1150000
15	12457	270000	290000	60	12440	1150000	1170000
16	12458	290000	310000	61	12449	1170000	1190000
17	12459	310000	330000	62	12449	1190000	1210000
18	12459	330000	350000	63	12449	1210000	1230000
19	12460	350000	370000	64	12449	1230000	1250000
20	12451	370000	390000	65	12439	1250000	1270000
21	12452	390000	410000	66	12439	1270000	1290000
22	12452	410000	430000	67	12439	1290000	1310000
23	12452	430000	450000	68	12439	1310000	1330000
24	12452	450000	470000	69	12448	1330000	1350000
25	12453	470000	490000	70	12438	1350000	1370000
26	12453	490000	510000	71	12438	1390000	1410000
27	12453	510000	530000	72	12438	1410000	1430000
28	12453	530000	550000	73	12438	1430000	1450000
29	12453	550000	570000	74	12437	1450000	1470000
30	12453	570000	590000	75	12437	1470000	1490000
31	12452	590000	610000	76	12436	1490000	1510000
32	12452	610000	630000	77	12436	1510000	1530000
33	12452	630000	650000	78	12435	1530000	1550000
34	12451	650000	670000	79	12435	1550000	1570000
35	12451	670000	690000	80	12434	1570000	1590000
36	12450	670000	690000	81	12443	1590000	1610000
37	12450	690000	710000	82	12433	1610000	1630000
38	12449	710000	730000	83	12442	1630000	1650000
39	12449	730000	750000	84	12432	1650000	1670000
40	12448	750000	770000	85	12441	1670000	1690000
41	12448	770000	790000	86	12431	1690000	1710000
42	12447	790000	810000	87	12440	1710000	1730000
43	12446	810000	830000	88	12430	1730000	1750000
44	12446	830000	850000	89	12430	1750000	1770000
45	12446	850000	870000	90	12429	1770000	1790000



شکل ۱-۱۳: نمودار نمونه‌های از دست رفته و یا گزارش شده اضافی در برابر تعداد کل نمونه (در شرایط دمایی گرم (۶۰ درجه سلیسیوس)

۴-۱) جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

همانگونه که اشاره گردید یکی از پارامترهای مهم طراحی سنسورهای شتابنگاری نرخ نمونه‌برداری می‌باشد که در این بخش آزمایش‌هایی در راستای کنترل صحت عملکرد سنسورهای HAT در نرخ نمونه‌برداری‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ صورت پذیرفت. همانگونه که اشاره گردید، روند انجام آزمایش‌ها بدین صورت است که ضربه‌های واحدی در بازه‌های زمانی ثابت (۱۰۰ ثانیه) به سنسورها اعمال می‌گردد و اندیس مقادیر حداکثر کنترل می‌گردد. در صورت عملکرد مناسب سنسورها، اختلاف اندیس مقادیر حداکثر دو ضربه واحد متوالی باید برابر با نرخ نمونه‌برداری ضربدر ۱۰۰ (فاصله زمانی ضربه‌های واحد) باشد. در جدول ۱-۱۰ نتایج آزمایش برای شرایط دمایی مختلف و نرخ نمونه‌برداری متفاوت ارائه شده است. همانطور که در جدول مشخص می‌باشد، سنسورهای HAT در شرایط دمایی محیطی تقریباً در هر ۴۲۰۰۰ نمونه یک داده اضافی گزارش می‌نماید، در صورتیکه در شرایط دمایی گرم و سرد به ترتیب تقریباً هر ۲۵۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ نمونه یک داده کمتر گزارش می‌نماید.

جدول ۱-۱۰: نحوه عملکرد سنسورهای HAT در شرایط دمایی متفاوت در نرخ نمونه برداری ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰

TEMPERATURE CONDITION	SAMPLE RATE (SPS)	EXCESSIVE OR MISS DATA
Ambient temperature	50	$\frac{1}{41759}$
	100	$\frac{1}{42702}$
	200	$\frac{1}{42502}$
Warm temperature condition (60° C)	50	$-\frac{1}{20452}$
	100	$-\frac{1}{20726}$
	200	$-\frac{1}{26073}$
Cold temperature condition (- 19° C)	50	$-\frac{1}{54734}$
	100	$-\frac{1}{44896}$
	200	$-\frac{1}{54857}$