

文章编号:1007-2780(2014)02-0251-07

红外触控屏的接收单元抗干扰新技术及其验证

李冬喆,陈国龙,黄子强*

(电子科技大学 电子科学技术研究院,四川 成都 610054)

摘要:红外触摸屏通过发射接收红外光进行工作,对环境光照因素的变化比较敏感。在有外界强光照的环境中使用红外触摸屏会受到极大干扰,导致红外接收管接收到的光强发生异常,从而引起误动作。本文研究了采用高频红外光的发射与接收,以锁相放大方式滤除太阳光的干扰频段分量,实现了红外触控屏的抗直接照射的阳光干扰的方法与验证结果。此外,通过改进了锁相放大器的解调算法,去掉传统的锁相放大后级所必须的滤波电路,电路更加简洁、可靠。经硬件平台的实际验证,选频 Q 值可以达到 145.985,并能在 50 000 lx 的光强下正常工作。该算法能够实现很好的选频和抗强光效果,达到抗干扰目的。

关键词:红外触摸屏;抗强光;锁相放大;选频接收

中图分类号:TN602 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142902.0251

New anti-jamming technology and verification of infraed touch screen receiver unit

LI Dong-zhe, CHEN Guo-long, HUANG Zi-qiang*

(Research Institute Electronic Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Infrared touch screen works through transmitting and receiving infrared light, which is sensitive in the change of environmental illumination factors. Infrared touch screen will be disturbed in the external strong light environment, leading that the infrared receiving tube receives light intensity abnormally and it may cause malfunction. First, high frequency infrared light transmission and reception is used to filter band component of sunlight interference by the method of lock-in amplifier. Second, the method of the direct exposure of sunlight anti-interference has been realized and its result is proved. In addition, the filter circuit which traditional amplification after stage have is removed by improving the demodulation algorithm of the lock-in amplifier. This algorithm makes the circuit more simple and reliable. The hardware platform of the actual experiment indicates that frequency selection Q is 145.985, and it can work in the 50 000 lx light environment availably. It proves that the algorithm can achieve good frequency selection, and meet the requirement of anti-glare effect and anti-jamming.

Key words: infrared touch screen; anti-glare; lock-in amplifier; select receiver

收稿日期:2013-09-16;修订日期:2013-10-15.

* 通信联系人, E-mail: zqhuang@188.com

1 引言

红外触摸技术作为一种人机交互方式发展至今^[1],通过不断的改进与完善,已经被运用在许多重要领域,特别因其的稳定性、坚固性、抗电磁干扰等特性广泛应用于大尺寸触摸屏的设计当中^[2-3]。

目前的红外触摸屏的工作原理是横竖方向上的红外发射管不断进行扫描发射红外光,对应的红外接收管接收相应的红外光。当有遮挡时,红外接收管接收到的光强会发生变化,相应的光电转换电路输出的电信号也会发生变化,从而判定触摸点的位置。除了接收固定频率外,如电路没有良好的滤波功能和选频功能,红外接收电路会接收到其他频率的噪声信号,这样接收到的数据和最初得到的域值^[4]相比较后会产生非常大的偏差,导致红外触摸屏无法正常的判断触摸位置,引起红外屏的误操作。特别是太阳光线中红外光约占 50%,包含大量直流分量噪声与各频段的干扰白噪声,在有太阳光的环境中使用红外触摸屏极易出现阳光干扰接收单元的问题,这也是目前红外触摸屏无法运用在室外环境的原因。因此必须引进抗强光干扰技术,来滤除太阳光的干扰,实现选频接收有效信号的目的。

目前在抗强光选频接收的常用技术中,分为在设计结构上实现抗强光的物理式防光和在硬件电路上实现抗强光的电气式防光。

在物理防光方面,为了提高红外触摸屏的抗强光干扰性能,要求大量削减外界光对红外接收管的影响。因此可以在红外接收管前安装对传播方向敏感的光准直沟道。只有当水平光线入射时才会有高透过率,而对于倾斜入射的光会有极大衰减^[5]。

对于电气式防光,有以下几种常见的方案:

无源晶振法^[6]:使用光电二极管和晶体谐振器构成接收端光电转换电路实现抗强光干扰。当作用于晶体谐振器的电信号频率等于晶体的固有频率时,利用无源晶体谐振器的压电效应会在输出端输出频率为固有频率的正弦信号,而其余频率的信号会被滤除。无源晶振法能实现高 Q 值的滤波和选频^[7],但受限于晶振的固有频率,在 kHz 频段上只有 32.768 kHz 一种,无法灵活选

择接收频率。

滤波法:使用带通滤波器和后续放大方式能消除太阳光直流分量和非发射频率其他频段的信号干扰^[8],并可调选频率,但 Q 值较低,并且接收管易出现饱和现象。在滤波法的基础上,利用 LC 谐振电路替代接收管电阻,能够消除接收管的饱和现象,但电感较大,会增加接收管电路的体积,不利于多接收管红外屏的设计。

锁相放大法^[9]:利用具有锁相放大环节的红外屏接收电路,将红外发射电路发射出的红外光经过光电转换后与参考信号进行锁相处理,经过放大再进行滤波。这方法具有良好的选频接收效果,但与输入信号频率相近的干扰信号无法通过滤波滤除,导致 Q 值偏低。

本文通过移相、互相关等方法,提出了一种新的锁相放大算法,进一步提高选频能力与 Q 值,并在后期使用高效的硬件平台对数据进行处理,在锁相放大后级不用滤波器的情况下实现高 Q 值的选频接收,达到抗强光干扰的目的。

2 算法分析和验证

2.1 锁相放大原理及算法改进

锁相放大基本结构如图 1 所示。PSD 相敏检测器是锁相放大的核心部分,根据互相关原理,只有当两个同频率的三角函数信号相乘再经过滤波积分可得到两者幅值与正弦或是余弦的乘积,而不同频率的三角函数信号相乘再经过滤波积分后能滤除掉零均值随即过程的噪声,并能通过低频滤波器滤除掉和频分量。但这个方法对于和输入信号频率十分接近的干扰信号无法通过滤波的方式滤除,会保留两不同频率的差频分量^[10],造成 Q 值偏低。所以锁相放大器只能通过 LPF 的窄带化来提高信噪比。

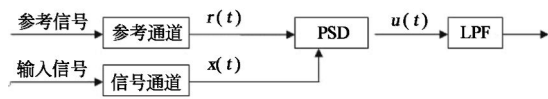


图 1 锁相放大基本结构图

Fig. 1 Basic frame diagram of lock-in amplifier

本文在锁相放大原理基础上,采用了新的算法,旨在在锁相放大环节之后不用滤波的情况下能达到很好的选频效果,并且能结合 PSOC5 硬件

平台实现对输出信号的处理。

改进算法结构示意图如图2所示。

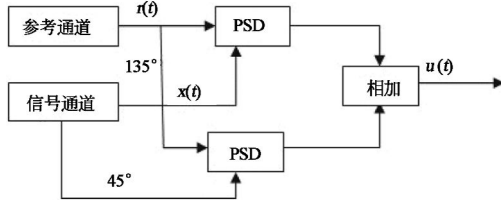


图2 改进算法结构图

Fig. 2 Frame diagram of improved algorithm

当输入信号 $x(t)$ 和参考信号 $r(t)$ 都是三角函数余弦信号时,设

$$x(t) = V_s \cos Wt, \quad (1)$$

$$r(t) = V_s \cos \omega t. \quad (2)$$

将参考信号与输入信号进行移相,参考信号移相 135° ,输入信号移相 45° ,即

$$x_1(t) = V_s \cos(Wt + \frac{\pi}{4}), \quad (3)$$

$$r_1(t) = V_s \cos(\omega t + \frac{3\pi}{4}). \quad (4)$$

同频信号原两路信号相乘为:

$$V_1 = x(t) * r(t) = 0.5V_s^2(\cos 2\omega t + 1). \quad (5)$$

同频信号移相后相乘为:

$$V_2 = x_1(t) * r_1(t) = -0.5V_s^2 \cos 2\omega t. \quad (6)$$

两路信号相加为:

$$V_3 = V_1 + V_2 = 0.5V_s^2. \quad (7)$$

若是同频信号,没有移相的两路信号相乘得到的差频分量为正,能将相乘后的信号的最小幅值提高到0V以上(式5),便于后期通过硬件平台将相乘后得到的两路信号进行相加处理实现幅值的相消,最后得到稳定的正值。

而将参考信号与不同频输入信号通过上述方法进行处理后,得到的信号幅值是围绕着0点上下浮动,且最大幅值的绝对值与最小幅值的绝对值相同,即为

$$u(t) = x(t) \times r(t) + x_1(t) \times r_1(t) = \frac{1}{2}V_s^2(\cos |W - \omega| t + \sin |W - \omega| t). \quad (8)$$

通过 PSOC5 硬件平台进行数据采样,AD 转换,将采样的数据进行数字式平均或者选取最大幅值和最小幅值进行相加处理,最后能将不同频率的信号幅值消除掉,而保留同频信号的幅值。

2.2 算法验证

验证部分分为模拟电路验证和数字仿真。模拟电路验证的目的是分析该算法的选频能力,验证算法对于连续信号在波形上的稳定性和可靠性,最后得到的数据和图像是否与算法相符。为数字部分的采样和数字信号处理做准备。数字仿真针对信号的采样精度进行分析。

模拟部分主要通过 PSOC5 构建模拟电路来获取信号幅值。模拟框图如图3所示。利用 PSOC5 产生 1 kHz 的内部参考正弦信号,输入信号通过外部信号发生器产生,并可调节不同频率。移相部分可通过 PSOC5 内部运算放大器来实现。再通过外部模拟乘法器 MLT04 实现信号相乘,最后用运放实现信号相加。最后不同频率的输出波形可用示波器显示并可获取输出波形的峰峰值。选频 Q 值由中心频率除以 0.7 倍中心频率幅值的频段之差获得,因此需要测出 0.7 倍中心频率幅值的频段数据。根据数据可画出模拟选频接收测试结果图如图4。

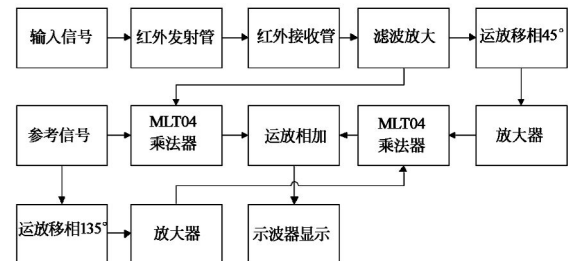


图3 模拟电路逻辑框图

Fig. 3 Logic flow of analog circuit

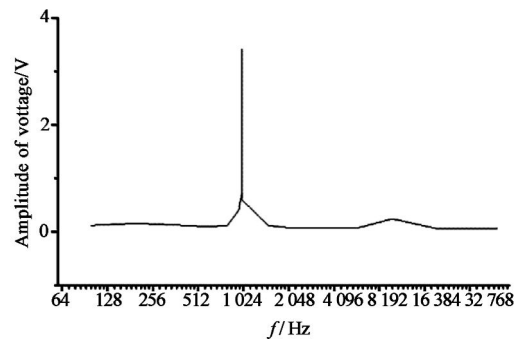


图4 模拟选频接收测试结果图

Fig. 4 Test results figure of analog receiver frequency selection

幅值在 999.63 Hz 与 1 000.33 Hz 2 个频率

段上,因此选频 Q 值可由图 4 得到。

$$Q = \frac{f}{\Delta f} = \frac{1\,000.1}{1\,000.33 - 999.63} = 1\,428.714. \quad (9)$$

由图 4 可以看出,由于模拟电路移相的精度不够准确以及信号发生器产生频率的步长和频偏,导致 1 kHz 信号并不是最大幅值,附近的频率的信号也有较大的幅值。由于两路信号进行放大后的幅值有偏差,导致在 1 kHz 频率处的信号不是获得一个稳定的幅值,而是有上下浮动的幅值,但峰值相加后能保证获得较大的正幅值,并且输入频率越高,通过运放移相后的幅值衰减越大。利用模拟硬件电路只能获得通过算法后的波形,却无法对波形的幅值进一步处理,所以必须要通过数字器件,通过 AD 转换提取波形的峰峰值进行处理。

数字仿真部分主要是运用 matlab 对信号进行采样仿真,然后对采样后的数据进行运算处理。通过改进式(8)可知,输入信号频率越接近参考信号, $|W - \omega|$ 越小, $u(t)$ 周期越大,如果采样数过少的话,会无法采样到 $u(t)$ 的一个完整周期,有可能不能获得 $u(t)$ 的最大最小幅值,导致在参考信号附近的频率也会出现较大的幅值,影响选频效果。因此,采样周期越长,采样数越多,获得的 Q 值越大。图 5 为在相同采样频率下,左边是采样 5 个参考信号周期 600 个数据,右边是采样 50 个周期 6 000 个数据的对比图,可以看出采样 50 个周期的图 Q 值更大,选频效果更好。

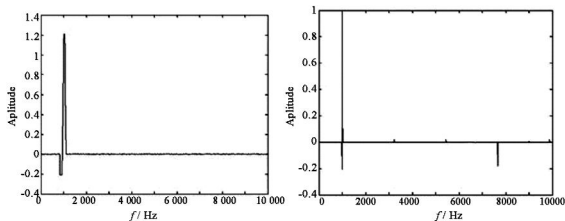


图 5 不同采样周期对比图

Fig. 5 Comparison chart of different sample period

3 硬件实验验证

本方案主要针对红外触摸屏抗强光干扰模块进行设计,将红外接收管接收到的信号先通过低通滤波,滤除掉太阳光中的直流分量,之后采用可编程片上系统芯片 PSOC5 将通过滤波器

之后的正弦型信号使用数字处理,实现上述互相关锁相放大改进算法,滤除掉其余频段上的干扰信号,提取出有效信号的幅值,主要实现信号的采样、移相、存储,再通过串口将采样得到的数据传输到 PC 端,利用 matlab 软件进行后续信号处理。

PSOC5 内部提供的 SAR_ADC 内部不包含采样保持功能,为了在 AD 采样转换过程中保持采样数据的稳定,提高采样精度,使用 PSOC5 提供的采样保持模块采样保持输入信号。给采样保持触发的时钟为 100 KHZ,在时钟下降沿采样保持输入数据,在上升沿采样数据。

将通过采样保持后的信号通过 PSOC5 内部 ADC 进行 8 位的 AD 转换。考虑到 PSOC5 内部存储器 SRAM 为 64 KB,可以存储 65 536 bit 的数据。如果进行 8 bit 量化数据的 AD 转换,最多可以存储 8 192 个采样数。若是对于频率为 10 kHz 的参考信号,将采样速率设置为 600 000 SPS,最多可以进行参考信号 50 个周期的采样,每路信号采样 1 500 个连续 8 bit 数据,从这看出采样的精度受限于存储空间的大小。若信号幅值过小,在峰值附近波形会渐变平缓,采样精度不高的话会导致多次采样到峰值附近相同的值,因此需要将采样精度提高到 12 bit 进行采样。受限于 PSOC5 ADC 转换性能,幅值过大会导致 ADC 无法采样到小于 -1.024 V 以下的负电压幅值,因此需要对输入信号进行分压处理。

对获得的采样数可以通过数字移相的方式实现移相。因为数字相位差与数据表中的数据总个数及数据地址的偏移量有关。若一个信号周期采样 N 个数,每两个相邻数据之间的相位差为 $360^\circ/N$,通过改变数据地址的偏移量 M 就能获得 $360^\circ \cdot M/N$ 相位差的信号。因此一个周期采样数越多,相位差精度越高。

基于对上述采样信号的精度问题考虑,为在一个周期内采样更多、精度更高的数据以及多周期采样,PSOC5 的 SRAM 无法存储超过 64 KB 的数据,因此将参考信号和输入信号依次进行 AD 采样和数字移相,通过 UART 传输到 PC 端用 MATLAB 上进行处理,不仅能提高采样精度,还能方便处理转换后的数据。PSOC5 硬件电路原理图如图 6。

将 PSOC5 AD 转换后的数据通过 UART 串

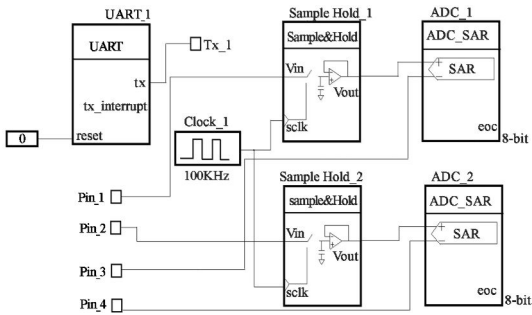


图 6 PSOC5 硬件电路原理图

Fig. 6 Schematic of PSOC5 hardware circuit

口用 MATLAB 软件进行接收。测试时,输入信号通过分压后的幅值为 0.75 V,AD 转换精度 12 位,前面再加上 4 位符号位,因此采样一次获得的数据为 16 位。内部参考正弦信号频率设置为 1 kHz,对于 1 kHz 的正弦信号每个周期采样 78 次,连续采样 20 个周期。外部输入信号由信号发生器提供,频率与采样次数与参考信号相同。图 7 为在 150 lx 光强的正常光照环境下采样点平滑处理后的还原图。

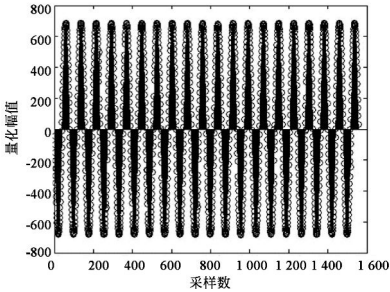


图 7 150 lx 量化后的输入信号

Fig. 7 Quantified input signal in 150 lx

将接收到的数据通过矩阵形式存储,再根据算法进行矩阵位与位数据相乘与相加,最后将获得的数据进行数字式平均,把采样数据进行累积相加平均,获得电压幅值。

由于太阳光中包含各个频段的红外光,要求能从各个频段的噪声中将所需的频段信号提取出来,因此具备良好的选频接收能力是抗强光干扰的一个重要指标。

利用信号发生器产生不同频率的单频点正弦波信号,信号发生器输出端与 PSOC5 的信号输入端口相连,从而模拟不同频率的接收信号。设置信号电压幅值为 12 V,表 1 为经过相关运算并将

量化值转换为电压幅值后的测试数据表,图 8 为选频接收测试结果图。

表 1 选频接收测试结果表

Tab. 1 Results of frequency selection receiver test

频率/Hz	电压幅值/V
500	0.44
900	0.53
990	1.56
995	2.25
997.51	3.74
999	5.1
1k	5.24
1 001	4.73
1 002	4.95
1 004.36	3.84
1 005	2.73
1 025	1.49
1 050	0.72
2k	0.96
5k	0.63
10k	0.52

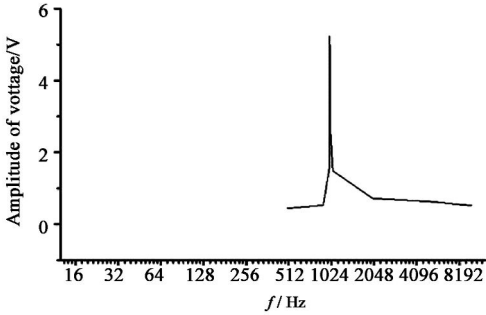


图 8 光强选频接收测试结果图

Fig. 8 Results of light intensity frequency selection receiver test

可计算出 Q 值为:

$$Q = \frac{f}{\Delta f} = \frac{1\,000}{1\,004.36 - 997.51} = 145.985. \quad (10)$$

从表 1 和图 8 可以看出,通过数据相关处理后能实现较好的选频效果,但由于采样过程中出现的误差,个别数据会出现浮动。

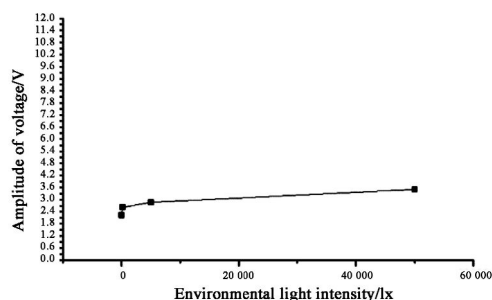


图 9 不同光强下数字锁相放大处理后输出信号幅值图
Fig. 9 Amplitude figure of digital lock-in amplified output signal in the different light intensity

通过测试可以看出,利用本方案的数字互相关锁相放大能够灵活实现对不同频率的选频接收,在没有后级滤波电路的情况下能够获得较高 Q 值的选频,实现抗干扰功能。相比模拟验证的测量数据有一定差距,原因在于受限于 PSOC5 采样性能,若能增加每周期采样数和采样周期数可以提高采样精度,获得更大的 Q 值,达到更好的选频目的。

为验证该方案在强光干扰下具有良好的数据接收能力,可通过控制白炽灯模拟太阳光光照,测试在不同光照强度下输出信号电压幅值变化。图 9 为 1 K 输入频率信号下驱动红外发射管,在不同光强下的经过锁相放大处理后的输出信号幅值图。

图 9 中,分别测试了在 0、150、5 000、50 000 lx 光强下的数字锁相放大方案的抗强光能力,可以看出在接收管不饱和的情况下,输出信号幅值基本不随环境光强变化,证明了该方案具有良好的抗强光干扰能力。

4 结 论

本文从目前红外触摸屏在有外界强光干扰下无法正常工作的问题着手,采用了一种新的锁相相关算法并对其进行了验证,提出了利用 PSOC5 来构成硬件电路实现抗干扰的解决方案。通过测试证明了本文提出的方案在强光下,能够实现有效的数据接收并且实现高 Q 值的滤波与选频接收,达到了良好的抗干扰目的。

参 考 文 献:

- [1] 张伟,郭勇. 基于 ARM 的红外多点触摸屏设计[J]. 液晶与显示, 2013, 28(5): 698-702.
Zhang W, Guo Y. The design of infrared multi-touch screen based on ARM [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(5): 698-702. (in Chinese)
- [2] 李文生,邓春健,吕燧. 基于触摸显示屏的人机交互手势分析[J]. 液晶与显示, 2011, 26(2): 194-199.
Li W S, Deng C J, Lv Y. Interaction gesture analysis based on touch screen [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2011, 26(2): 194-199. (in Chinese)
- [3] 佳格科技推出创新的混合矩阵红外技术[J]. 现代显示, 2012, 134: 30.
The mixing matrix infrared technology which Standard technology put out [J]. *Advanced Display*, 2012, 134: 30. (in Chinese)
- [4] 张宏伟. 多触点抗强光红外触摸屏的设计与验证[D]. 成都: 电子科技大学, 2009: 27.
Zhang H W. The design and verification of multi-touch and anti-light infrared screen [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2009: 27. (in Chinese)
- [5] 张明. 抗强光干扰的高精度红外触摸屏设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学光电信息学院, 2008: 23-24.
Zhang M. The design and implementation of anti-light high-precision infrared touch screen [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2008: 23-24. (in Chinese)
- [6] 李毅. 可扩展抗强光红外触控模块设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2013: 23-33.
Li Y. Design and implementation of scalable, anti-light interference infrared touch module [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013: 23-33. (in Chinese)
- [7] 冯致礼. 晶体滤波器[M]. 北京: 宇航出版社, 1987: 488-501.
Feng Z L. *Crystal Filter* [M]. Beijing: Yuhang Press, 1987: 488-501. (in Chinese)
- [8] 董冠涛. 红外线感应电子白板的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2009: 27-33.
Dong G T. Design and realization of electronic whiteboard based on infrared ray [D]. Changchun: Jilin University,

2009;27-33. (in Chinese)

- [9] 周焯. 基于锁相放大技术的抗强光干扰红外触控技术的研究[D]. 成都:电子科技大学,2011:20-21.

Zhou Y. The research of anti-light infrared touch technology based on lock-in amplifier technology [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2011;20-21. (in Chinese)

- [10] 高晋占. 微弱信号检测[M]. 北京:清华大学出版社,2002:161-162.

Gao J Z. *Detection of Weak Signals* [M]. Beijing: Qinghua University Press,2002;161-162. (in Chinese)

作者简介:李冬喆(1987—),男,广西柳州人,硕士研究生,主要从事光学工程红外与平板显示方面研究。E-mail:miku.athome@hotmail.com